

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Influencia de las características físicas en la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad para arenas mal graduadas en estado saturado

Por:

Jaime Leandro Soto Salcedo

Asesor:

Ing. Herson Duberly Pari Cusi

Juliaca, septiembre de 2018

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

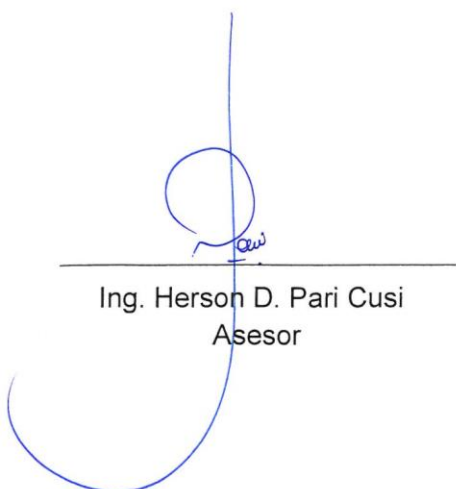
Ing. Herson Duberly Pari Cusi, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO" constituye la memoria que presenta el Bachiller Jaime Leandro Soto Salcedo para aspirar al título Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los veintisiete días, del mes de septiembre, del año dos mil dieciocho.



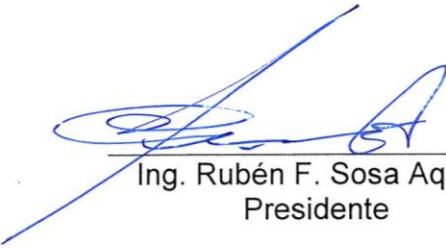
Ing. Herson D. Pari Cusi
Asesor

Influencia de las características físicas en la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad para arenas mal graduadas en estado saturado

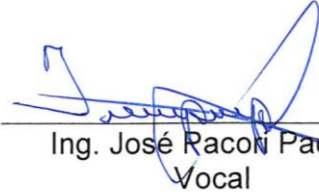
TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil


JURADO CALIFICADOR




Ing. Rubén F. Sosa Aquise
Presidente



Ing. José Raoni Pacori
Vocal



Ing. Moisés Araza Chile
Secretario



Ing. Juana B. Aquise Pari
Vocal



Ing. Herson D. Pari Cusi
Asesor

Juliaca, 27 de septiembre del 2018

DEDICATORIA

A Dios; fuente de vida, sabiduría y amor, pilares fundamentales para que pueda dar un paso más hacia el éxito.

A mi familia y novia, por el apoyo incondicional y comprensión humana en esta etapa de mi vida.

A todos aquellos profesionales y estudiantes apasionados por la Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Graciela Salcedo y tío Pedro Pablo Salcedo; fuentes de inspiración y ejemplo de superación personal.

Al Ing. Herson Pari; amigo y mentor, con quién compartí experiencias que me marcaron como investigador.

A mi alma mater; la Universidad Peruana Unión, a través de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVIII
NOMENCLATURA	XIX
RESUMEN.....	XXI
ABSTRACT	XXII
CAPÍTULO I	23
EL PROBLEMA.....	23
1.1. Identificación del Problema	23
1.1.1. Pregunta General	24
1.1.2. Preguntas Específicas	25
1.2. Justificación e Importancia.....	25
1.3. Objetivos de la Investigación.....	28
1.3.1. Objetivo General	28
1.3.2. Objetivos Específicos	28
CAPÍTULO II	29
MARCO TEÓRICO	29
2.1. Antecedentes de Investigación	29
2.1.1. Antecedentes para el Ángulo de Fricción	29
2.1.2. Antecedentes para el Coeficiente de Permeabilidad.....	32
2.2. Marco Conceptual.....	35
2.2.1. El Suelo y su Origen.....	35
2.2.2. Tipos de Suelo	37
2.2.2.1. Suelos Inorgánicos (Suelos Residuales y Transportados).....	37
2.2.2.2. Suelos Orgánicos.....	38
2.2.3. Tamaño de Partícula del Suelo	39
2.2.4. Clasificación del Suelo	40
2.2.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS	40
2.2.5. Características Físicas del Suelo.....	42

2.2.5.1. Gravedad Específica.....	42
2.2.5.2. Relaciones Peso – Volumen	43
2.2.5.3. Relaciones entre Peso Unitario, Relación de Vacíos, Contenido de Humedad y Gravedad Específica en un Suelo Saturado	45
2.2.5.4. Distribución Granulométrica	47
2.2.5.5. Densidad Relativa	51
2.2.6. Resistencia al Esfuerzo Cortante del Suelo	52
2.2.6.1. Resistencia al Corte y el Modelo de Fricción.....	52
2.2.6.2. Concepto de Fricción	54
2.2.6.3. Criterio de Falla de Mohr – Coulomb.....	56
2.2.6.4. Prueba de la Densidad Relativa para la determinación del Ángulo de Fricción en Arenas.....	58
2.2.6.5. Correlaciones existentes para la estimación del Ángulo de Fricción en Arenas ..	62
2.2.7. Movimiento del Agua a través del Suelo	63
2.2.7.1. Ecuación de Bernoulli	63
2.2.7.2. Ley de Darcy.....	66
2.2.7.3. Coeficiente de Permeabilidad	68
2.2.7.4. Prueba de Permeabilidad de Carga Constante para la determinación de Coeficiente de Permeabilidad en Arenas	70
2.2.7.5. Correlaciones existentes para la estimación del Coeficiente de Permeabilidad en Arenas.....	72
CAPÍTULO III	74
MATERIALES Y MÉTODOS	74
3.1. Metodología de Investigación.....	74
3.1.1. Enfoque de Investigación	74
3.1.2. Nivel de Investigación.....	74
3.1.3. Diseño de Investigación	75
3.2. Formulación de las Hipótesis	75
3.2.1. Hipótesis General.....	75
3.2.2. Hipótesis Específicas	75
3.3. Identificación de Variables.....	76
3.3.1. Variables Independientes (X)	76
3.3.2. Variables Dependientes (Y).....	76
3.3.3. Variables Intervinientes (Z).....	76
3.3.4. Operacionalización de Variables	77

3.4. Recursos necesarios para la Recolección de Datos	79
3.5. Lugar de Ejecución	81
3.6. Población y Muestra	81
3.6.1. Población	82
3.6.2. Muestra	83
3.6.2.1. Cálculo de la Muestra en Poblaciones Infinitas	84
3.6.2.2. Criterio para la Selección de la Muestra	90
3.7. Área de Estudio e Investigación	96
3.7.1. Ubicación y Características del Área de Estudio	97
3.7.1.1. Localización	97
3.7.1.2. Hidrografía	98
3.7.1.3. Clima	101
3.7.1.4. Geología	101
3.7.1.5. Geomorfología	103
3.8. Proceso de Recolección de Datos	104
3.8.1. Ensayos de Laboratorio y Campo	105
3.8.1.1. Exploración y Muestreo	105
3.8.1.2. Ensayo de Análisis Granulométrico Inverso	107
3.8.1.3. Ensayo de Densidad Mínima y Máxima	110
3.8.1.4. Ensayo de Gravedad Específica	114
3.8.1.5. Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante	116
CAPÍTULO IV	118
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	118
4.1. Resultados Obtenidos de los Ensayos en Laboratorio	118
4.1.1. Resultados del Ensayo de Análisis Granulométrico Inverso	118
4.1.2. Resultados del Ensayo de la Densidad Mínima y Máxima	118
4.1.3. Resultados del Ensayo de la Gravedad Específica	120
4.1.4. Resultados de la Relación de Vacíos Mínimo y Máximo	120
4.1.5. Resultados del Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante	122
4.2. Análisis de Resultados para el Ángulo de Fricción	123
4.2.1. Relación entre los Parámetros Granulométricos y la Relación de Vacíos Mínimo y Máximo	123
4.2.2. Relación entre la Relación de Vacíos Mínimo y la Relación de Vacíos Máximo	125
4.2.3. Relación entre el Tamaño Medio de Grano y el Rango de Relación de Vacíos	127
4.3. Análisis de Resultados para el Coeficiente de Permeabilidad	128

4.3.1. Relación entre los Parámetros Granulométricos y el Coeficiente de Permeabilidad	128
4.3.2. Relación entre el Diámetro Efectivo y el Coeficiente de Permeabilidad	130
4.3.3. Relación entre el Tamaño Medio de Grano y el Coeficiente de Permeabilidad...	131
4.3.4. Relación entre la Relación de Vacíos y el Coeficiente de Permeabilidad.....	132
4.4. Correlación y Regresión de Resultados para determinar el Ángulo de Fricción	134
4.4.1. Correlación y Regresión para la Relación de Vacíos Mínimo	134
4.4.2. Correlación y Regresión para la Relación de Vacíos Máximo.....	142
4.5. Correlación y Regresión de Resultados para determinar el Coeficiente de Permeabilidad	149
4.6. Prueba de Hipótesis de Investigación.....	154
4.6.1. Procedimiento para la Prueba de Hipótesis.....	156
4.6.1.1. Paso 1: Formulación de Hipótesis.....	156
4.6.1.2. Paso 2: Establecer el Nivel de Significancia.....	157
4.6.1.3. Paso 3: Elección del Estadístico de Prueba	159
4.6.1.4. Paso 4: Lectura del p-valor	160
4.6.1.5. Paso 5: Toma de Decisión	161
4.6.2. Prueba de Hipótesis General de Investigación	161
4.6.2.1. Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (Correlación para el Ángulo de Fricción)	162
4.6.2.2. Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (Correlación para el Coeficiente de Permeabilidad)	167
4.6.2.3. Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (Confiabilidad de Resultados)	170
4.7. Verificación de Resultados mediante Ensayos Especiales.....	178
4.7.1. Verificación de Resultados para determinar el Ángulo de Fricción	178
4.7.2. Verificación de Resultados para determinar el Coeficiente de Permeabilidad.....	179
CAPÍTULO V.....	181
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	181
5.1. Conclusiones.....	181
5.2. Recomendaciones.....	185
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	187
ANEXOS	193

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de separación de tamaño de suelo	39
Tabla 2. Símbolos de grupo para la clasificación de suelos según SUCS.....	41
Tabla 3. Gravedad específica de algunos suelos.....	42
Tabla 4. Porosidad, relación de vacíos y peso unitario de suelos típicos en estado natural.....	47
Tabla 5. Tamaños de mallas estándares en EE.UU.....	48
Tabla 6. Densidad de un suelo granular.....	51
Tabla 7. Valores de ϕ' para suelos granulares, según Terzaghi y Peck, 1967.....	56
Tabla 8. Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción de suelos friccionantes.....	61
Tabla 9. Correlaciones existentes para la estimación del ángulo de fricción en función a las características físicas	62
Tabla 10. Valores típicos de coeficiente de permeabilidad para suelos saturados	69
Tabla 11. Variación de $\eta T^{\circ}C/\eta 20^{\circ}C$	70
Tabla 12. Correlaciones existentes para la estimación del coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas.....	73
Tabla 13. Valores más frecuentes de Z	85
Tabla 14. Coordenadas UTM y altitud de canteras	100
Tabla 15. Resultados obtenidos de la gravedad específica por cantera.....	120
Tabla 16. Correlaciones entre las variables C_u y e_{\min}	134
Tabla 17. Datos estadísticos para la correlación y regresión entre C_u y e_{\min}	137
Tabla 18. Escala del coeficiente de correlación (r).....	141
Tabla 19. Correlaciones entre las variables e_{\min} y e_{\max}	142
Tabla 20. Datos estadísticos para la correlación y regresión entre e_{\min} y e_{\max}	144
Tabla 21. Correlaciones entre las variables D_{10} y k	150
Tabla 22. Datos estadísticos para la correlación y regresión entre D_{10} y k	152
Tabla 23. Situaciones posibles al probar una hipótesis estadística	159
Tabla 24. Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de e_{\min} (correlación)	163
Tabla 25. Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de e_{\max} (correlación).....	164
Tabla 26. Resultados de la prueba de hipótesis para e_{\min} (correlación)	165
Tabla 27. Resultados de la prueba de hipótesis para e_{\max} (correlación).....	165
Tabla 28. Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de k (correlación)	168
Tabla 29. Resultados de la prueba de hipótesis para k (correlación)	169
Tabla 30. Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de e_{\min} (confiabilidad).....	172

Tabla 31. Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de $e_{m\acute{a}x}$ (confiabilidad)	172
Tabla 32. Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de k (confiabilidad)	173
Tabla 33. Resultados de la prueba de hipótesis para $e_{m\acute{i}n}$ (confiabilidad)	174
Tabla 34. Resultados de la prueba de hipótesis para $e_{m\acute{a}x}$ (confiabilidad)	175
Tabla 35. Resultados de la prueba de hipótesis para k (confiabilidad)	175
Tabla 36. Resultados obtenidos de la densidad relativa por método (verificación)	178
Tabla 37. Resultados obtenidos del ángulo de fricción por método (verificación)	178
Tabla 38. Resultados obtenidos de coeficiente de permeabilidad por método (verificación)	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases que constituyen el suelo, en este caso representadas en un agregado o “terron”, el cual está formado por sólidos, agua y aire. Adaptado de “Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales”, por Carrasco J. y Riquelme J., 2010, p. 48.	36
Figura 2. Zona superficial intemperizada sobre la roca madre. Adaptado de “Geología para ingenieros geotécnicos”, por Harvey J. C., 1987, p. 14. Copyright 1987 por LIMUSA.	37
Figura 3. Sección transversal de un depósito fluvial. Adaptado de “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, por Das B. M., 2015, p. 24. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.	38
Figura 4. Relación en tamaño de partículas de arena, limo y arcilla. Adaptado de “Propiedades físicas del suelo”, por Rucks L., García F., Kaplán A., Ponce de León J. y Hill M., 2004, párr. 9.	40
Figura 5. (a) Elemento de suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo. Adaptado de “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, por Das B. M., 2015, p. 50. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.	43
Figura 6. Elemento de suelo saturado con un volumen de sólidos de suelo igual a 1. Adaptado de “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, por Das B. M., 2015, p. 54. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.	46
Figura 7. Definición de D_{75} , D_{60} , D_{30} , D_{25} , y D_{10} . Adaptado de “Introduction to geotechnical engineering”, por Das B. M. & Sivakugan N., 2016, p. 12. Copyright 2016 por CENGAGE Learning.	48
Figura 8. Interpretación de la curva granulométrica. Adaptado de “Manual de carreteras: construcción y mantenimiento”, por Bañon L. y Beviá J. F., 2010, p. 8.	49
Figura 9. Curvas granulométricas de diferentes texturas. Adaptado de “Mecánica de suelos y cimentaciones”, por Crespo C., 2008, p. 50. Copyright 2008 por LIMUSA. ...	50
Figura 10. Curvas granulométricas típicas. Adaptado de “Mecánica de suelos en la ingeniería práctica”, por Terzaghi K. y Peck R. B., 1973, p. 20. Copyright 1973 por EL ATENEO.	50
Figura 11. Modelo de fricción. Adaptado de “Basic soil mechanics”, por Whitlow R., 1995, p. 213. Copyright 1995 por LONGMAN.	53
Figura 12. Ángulo de fricción interna. Adaptado de “Basic soil mechanics”, por Whitlow R., 1995, p. 213. Copyright 1995 por LONGMAN.	53

Figura 13. Formación del plano de falla. Adaptado de “Apuntes de resistencia al corte”, por Leoni A. J., 1987, p. 5.	54
Figura 14. El ángulo de reposo coincide con el ángulo de fricción en una arena seca. Adaptado de “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”, por Suárez J., 1998, p. 83.	55
Figura 15. Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura de Mohr – Coulomb. Adaptado de “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, por Das B. M., 2015, p. 230. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.	57
Figura 16. Embudo de plástico blando. Adaptado de “Norma de Ensayo del Laboratorio y Transporte y Mecánica del Suelo”, NLT-204/72, p. 2.	59
Figura 17. Molde cilíndrico. Adaptado de “Norma de Ensayo del Laboratorio y Transporte y Mecánica del Suelo”, NLT – 205/91, p. 1.	59
Figura 18. Presión, elevación y cargas totales para el flujo del agua a través de un suelo. Adaptado de “Principles of geotechnical engineering”, por Das B. M. & Sobhan K., 2014, p. 199. Coyright 2014 por CENGAGE Learning.	64
Figura 19. Naturaleza de la variación de v con el gradiente hidráulico, i . Adaptado de “Principles of geotechnical engineering”, por Das B. M. & Sobhan K., 2014, p. 200. Coyright 2014 por CENGAGE Learning.	65
Figura 20. Deducción de la Ecuación 40. Adaptado de “Principles of geotechnical engineering”, por Das B. M. & Sobhan K., 2014, p. 201. Coyright 2014 por CENGAGE Learning.	68
Figura 21. Prueba de permeabilidad de carga constante. Adaptado de “Introduction to geotechnical engineering”, por Das B. M. & Sivakugan N., 2016 p. 90. Copyright 2016 por CENGAGE Learning.	71
Figura 22. Esquema de relación causal multivariada con dos variables dependientes, adaptada para la presente tesis. (Elaboración propia).	78
Figura 23. Esquema de relación causal con variable interviniente. Adaptado de “Metodología de la investigación”, por Hernández R. et al., 2014, p. 113. Copyright 2014 por McGRAW-HILL.	78
Figura 24. Esquema de relación causal multivariada con dos variables dependientes y una interviniente, adaptada para la presente tesis. (Elaboración propia).	78
Figura 25. Línea de investigación seguida para el desarrollo de la presente tesis. (Elaboración propia).	80
Figura 26. Representación de una muestra como subgrupo. Adaptado de “Metodología de la investigación”, por Hernández R. et al., 2014, p. 175. Copyright 2014 por McGRAW-HILL.	81

Figura 27. Curvas granulométricas típicas de suelos granulares. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).....	91
Figura 28. Curvas granulométricas típicas de suelos arenosos. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).....	91
Figura 29. Curvas granulométricas típicas de suelos arenosos limpios y limpios con finos. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	92
Figura 30. Curvas granulométricas típicas de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	92
Figura 31. Curvas granulométricas típicas de textura abierta de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	93
Figura 32. Curvas granulométricas típicas de textura media de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	93
Figura 33. Curvas granulométricas típicas de textura cerrada de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	93
Figura 34. Curvas granulométricas confeccionadas de suelos arenosos limpios de textura abierta. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).....	94
Figura 35. Curvas granulométricas confeccionadas de textura media de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	94
Figura 36. Curvas granulométricas confeccionadas de textura cerrada de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	95
Figura 37. Ubicación de la ciudad de Juliaca, respecto a nivel nacional, regional y provincial. Adaptado de “Plan Director de Juliaca 2004 – 2015”.	97
Figura 38. Ubicación de las canteras de río Maravillas, Unocolla e Isla, respecto al centro de la ciudad de Juliaca. (Elaboración propia con Google Maps, 2017).	98
Figura 39. Fotografía aérea de la cantera Maravillas – Salida a Cusco. (Elaboración propia con Google Maps, 2017).....	99
Figura 40. Fotografía aérea de la cantera Unocolla – Salida a Lampa. (Elaboración propia con Google Maps, 2017).....	99
Figura 41. Fotografía aérea de la cantera Isla – Salida a Isla. (Elaboración propia con Google Maps, 2017).	100
Figura 42. Mapa geológico del cuadrángulo de Juliaca (Escala: 1:50,000) – Hoja 31 v2. Adaptado de “Base topográfica IGN”, 2010, actualizado por el INGEMMET en el 2014.....	102
Figura 43. Exploración y muestreo in situ de la cantera Maravillas – Salida a Cusco. (Elaboración propia).....	106

Figura 44. Exploración y muestreo in situ de la cantera Unocolla – Salida a Lampa. (Elaboración propia).....	106
Figura 45. Exploración y muestreo in situ de la cantera Isla – Salida a Isla. (Elaboración propia).	106
Figura 46. Tamices, fondo y balanza del ensayo de análisis granulométrico de suelos, aplicado en esta tesis para la separación de muestras de arena por pesos retenidos. (Elaboración propia).	107
Figura 47. Ejecución del ensayo para la separación de muestras de arena por pesos retenidos. (Elaboración propia).	108
Figura 48. Muestras de arena separada por pesos retenidos de los tamices #4, #10, #20, #40, #60, #100 y #200, conjuntamente el peso pasante del tamiz #200 de la cantera Maravillas, Unocolla e Isla. (Elaboración propia).	109
Figura 49. Muestras de arena dosificada por tamaño de acuerdo al peso retenido de los tamices 4, #10, #20, #40, #60, #100 y #200 de las curvas granulométricas confeccionadas de textura abierta de la cantera Maravillas. (Elaboración propia).	109
Figura 50. Molde y embudo para la determinación de la densidad mínima de una arena. (Elaboración propia).....	110
Figura 51. Ejecución del ensayo de la densidad mínima de una arena. (Elaboración propia).	111
Figura 52. Molde y compactador mecánico para la determinación de la densidad máxima de una arena por el método de apisonado. (Elaboración propia).	112
Figura 53. Ejecución del ensayo de la densidad máxima de una arena por el método de apisonado. (Elaboración propia).	113
Figura 54. Bomba de vacíos, picnómetro, embudo y termómetro para la determinación de la gravedad específica de un suelo. (Elaboración propia).	114
Figura 55. Ejecución del ensayo de gravedad específica de un suelo. (Elaboración propia).	115
Figura 56. Permeámetro, piedras porosas y probeta para la determinación de la permeabilidad de carga constante de una arena. (Elaboración propia).....	116
Figura 57. Ejecución del ensayo de permeabilidad de carga constante de una arena. (Elaboración propia).....	117
Figura 58. Resultados obtenidos de los diámetros y parámetros granulométricos de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).....	118

Figura 59. Resultados obtenidos de las densidades mínimas de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15)....	119
Figura 60. Resultados obtenidos de las densidades máximas de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15)....	119
Figura 61. Resultados obtenidos de la relación de vacíos mínimo de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).....	121
Figura 62. Resultados obtenidos de la relación de vacíos máximo de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).....	121
Figura 63. Resultados obtenidos del coeficiente de permeabilidad de las curvas granulométricas confeccionadas en estudio. (Elaboración Propia con Microsoft Excel v.15).....	122
Figura 64. Relación entre el coeficiente de uniformidad y la relación de vacíos mínimo. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	124
Figura 65. Relación entre el coeficiente de uniformidad y la relación de vacíos máximo. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	124
Figura 66. Relación entre la relación de vacíos mínimo y la relación de vacíos máximo. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	126
Figura 67. Relación entre el tamaño medio de grano y el rango de la relación de vacíos. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	127
Figura 68. Relación entre el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	129
Figura 69. Relación entre el diámetro efectivo y el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	130
Figura 70. Relación entre el tamaño medio de grano y el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	132
Figura 71. Relación entre la relación de vacíos y el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	133
Figura 72. Ajuste para una correlación potencial entre las variables C_u y e_{\min} . (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	135
Figura 73. Ajuste para una correlación lineal entre las variables e_{\min} y e_{\max} . (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	143
Figura 74. Ajuste para una correlación lineal entre las variables D_{10} y k . (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).....	151

Figura 75. Secuencia de pasos para realizar la prueba de hipótesis. Adaptado de “Prueba de hipótesis: metodología de la investigación científica”, por Supo J., 2012. .	156
Figura 76. Correlación como prueba de hipótesis para e_{\min} . (Elaboración propia con SPSS v.22).....	166
Figura 77. Correlación como prueba de hipótesis para e_{\max} . (Elaboración propia con SPSS v.22).....	166
Figura 78. Correlación como prueba de hipótesis para k. (Elaboración propia con SPSS v.22).....	170
Figura 79. Comparación de resultados de e_{\min} -medido y e_{\min} -estimado. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	176
Figura 80. Comparación de resultados de e_{\max} -medido y e_{\max} -estimado. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	176
Figura 81. Comparación de resultados de k-medido y k-estimado. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).....	177
Figura 82. Verificación de resultados para determinar el ángulo de fricción. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	179
Figura 83. Verificación de resultados para determinar el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).	180

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Ensayo de análisis granulométrico inverso (Adaptado por el tesista).....	193
Anexo B. Ensayo de densidad mínima y máxima (NLT-204/72 & NLT-205/91).....	224
Anexo C. Ensayo de gravedad específica (ASTM D 854-00)	270
Anexo D. Ensayo de permeabilidad de carga constante (ASTM D 5084-00)	274
Anexo E. Ensayo de corte directo (ASTM D 3080-98)	291
Anexo F. Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio (Resumen)	298
Anexo G. Panel fotográfico (Ensayos de campo y laboratorio)	305
Anexo H. Plano de ubicación de canteras (Área de estudio e investigación)	310

NOMENCLATURA

ϕ'	: Ángulo de fricción (°)
D_R	: Densidad relativa (%)
k	: Coeficiente de permeabilidad (cm/s)
k_M	: Coeficiente de permeabilidad medido (cm/s)
k_E	: Coeficiente de permeabilidad estimado (cm/s)
e	: Relación de vacíos natural (-)
e_{\min}	: Relación de vacíos mínimo (-)
$e_{\min-M}$: Relación de vacíos mínimo medido (-)
$e_{\min-E}$: Relación de vacíos mínimo estimado (-)
e_{\max}	: Relación de vacíos máximo (-)
$e_{\max-M}$: Relación de vacíos máximo medido (-)
$e_{\max-E}$: Relación de vacíos máximo estimado (-)
$e_{\max}-e_{\min}$: Rango de la relación de vacíos (-)
ρ_{\min}	: Densidad mínima (gr/cm ³)
ρ_{\max}	: Densidad máxima (gr/cm ³)
C_U	: Coeficiente de uniformidad (-)
C_C	: Coeficiente de curvatura (-)
S_o	: Coeficiente de clasificación (-)
D_{10}	: Diámetro efectivo (mm)
D_{15}	: Diámetro correspondiente al 15% de finos (mm)
D_{30}	: Diámetro correspondiente al 30% de finos (mm)
D_{50}	: Diámetro o tamaño medio de grano (mm)
D_{60}	: Diámetro correspondiente al 60% de finos (mm)
D_{75}	: Diámetro correspondiente al 75% de finos (mm)
G_s	: Gravedad específica (-)
T_{CG}	: Textura de curva granulométrica (-)
CGC	: Curva granulométrica confeccionada (-)
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (-)
SW	: Arena bien graduada (-)

SP	: Arena mal graduada (-)
X	: Variable independiente (-)
Y	: Variable dependiente (-)
Z	: Variable interviniente (-)
f	: Función matemática (-)
a	: Intercepto de la ecuación de regresión lineal (-)
b	: Pendiente de la ecuación de regresión lineal (-)
n	: Tamaño de la muestra (-)
r^2	: Coeficiente de determinación (-)
r	: Coeficiente de correlación de Pearson (-)
H_0	: Hipótesis nula (-)
H_1	: Hipótesis alterna (-)
α	: Nivel de significancia (-)
p-valor	: Significación muestral (-)
ASTM	: Organización de Normas Internacionales (-)
NLT	: Norma de Ensayo del Laboratorio y Transporte y Mecánica del Suelo (-)
UNE	: Una Norma Española (Norma Técnica Española) (-)
INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (-)
SPT	: Ensayo de Penetración Estándar (-)
In situ	: En el sitio o en el lugar (-)
CD	: Consolidado Drenado (-)
UTM	: Sistema de Coordenadas Universal (-)

RESUMEN

El objetivo de la tesis consistió en proponer una metodología simple, accesible y confiable; simple a la hora de realizar el ensayo, accesible en cuanto se refiere al costo y confiable concerniente a la obtención de resultados, con el fin de determinar el ángulo de fricción (ϕ') y coeficiente de permeabilidad (k), por medio de ecuaciones de regresión, obtenidas a partir de un análisis correlacional entre variables para cada caso, las cuales estén en función a las características físicas de arenas limpias (SW y SP). La muestra de estudio estuvo constituida por 30 curvas granulométricas (10 de textura abierta, 10 de textura media y 10 de textura cerrada); $n= 90$ para ϕ' y $n= 30$ para k . Sin embargo, se optó por realizar la confección de curvas granulométricas, las mismas que fueron obtenidas a partir del ensayo de análisis granulométrico inverso (ensayo adaptado por el tesista), aplicado en arenas limpias provenientes de 03 canteras de río. Posteriormente, se ensayó la muestra confeccionada, realizando ensayos de laboratorio como la densidad mínima y máxima, y gravedad específica para el caso del ϕ' , y el ensayo de permeabilidad de carga constante para el caso del k . Lográndose obtener tres ecuaciones de regresión con ayuda de Microsoft Excel v.15.0; una de correlación potencial para la determinación de $e_{\min} = f(C_U)$, influenciado por G_s y T_{CG} y dos de correlaciones lineales para la determinación de $e_{\max} = f(C_U)$, influenciado también por G_s y T_{CG} y para la determinación de $k = f(D_{10})$, influenciado por e y T_{CG} . La prueba de hipótesis se logró con el apoyo de SPSS v.22.0, por medio de la prueba estadística del coeficiente de Pearson y regresión lineal; al obtenerse asociaciones lineales estadísticamente significativas con un $p\text{-valor} < .05$; para e_{\min} se encontró una correlación negativa muy fuerte e inversamente proporcional ($r = -.943$), para e_{\max} y k se encontraron correlaciones positivas muy fuertes y directamente proporcionales ($r = .918$ y $r = .973$, respectivamente), y en cuanto a la confiabilidad de resultados, se realizó mediante la prueba "t" para muestras relacionadas, consiguiendo que para ambos casos el $p\text{-valor} > .05$, afirmando de esta manera que no se presenta diferencia significativa entre las muestras relacionadas. Por lo que, se propone una metodología factible que determina ϕ' y k en arenas limpias, las cuales están influenciadas significativamente por las características físicas; como: C_U , D_{10} , G_s , e y principalmente de T_{CG} , habiendo sido considerada esta última característica, por parte del tesista.

Palabras clave: Ángulo de fricción, coeficiente de permeabilidad, características físicas, arenas mal graduadas, correlación, confiabilidad.

ABSTRACT

The objective of the thesis was to propose a simple, accessible and reliable methodology; simple at the time of the test, accessible as far as the cost is concerned and reliable concerning the obtaining of results, in order to determine the angle of friction and coefficient of permeability, by means of regression equations, obtained from A correlation analysis between variables for each case, which are based on the physical characteristics of clean sands (SW and SP). The study sample consisted of 30 granulometric curves (10 of open texture, 10 of medium texture and 10 of closed texture); $n = 90$ for ϕ' and $n = 30$ for k . However, it was decided to make the granulometric curves, the same ones that were obtained from the inverse granulometric analysis test (test adapted by the dissertator student), applied in clean sands Coming from river quarries. Subsequently, the sample was tested, performing laboratory tests such as minimum and maximum density, and specific gravity for the case of ϕ' , and the constant load permeability test for the case of k . It is possible to obtain three regression equations with the help of Microsoft Excel v.15.0; one of potential correlation for the determination of $e_{min} = f(C_u)$, influenced by G_s and T_{CG} and two of linear correlations for the determination of $e_{max} = f(C_u)$, also influenced by G_s and T_{CG} and for the determination of $k = f(D_{10})$, influenced by T_{CG} . The test of the hypothesis was achieved with the support of SPSS v.22.0, through the statistical test of the Pearson coefficient and linear regression; when statistically significant linear associations were obtained with a p -value $< .05$; for e_{min} , a very strong and inversely proportional negative correlation was found ($r = -.943$), for e_{max} and k very strong and directly proportional positive correlations were found ($r = .918$ and $r = .973$, respectively), and as regards the reliability of results, was performed by the "t" test for related samples, obtaining that for both cases the p -value $> .05$, affirming in this way that there is no significant difference between the related samples. Therefore, a feasible methodology is proposed that determines ϕ' and k in clean arenas, which are influenced significantly by the physical characteristics; as: C_u , D_{10} , G_s , e and mainly of T_{CG} , having been considered this last characteristic, on the part of the dissertator student.

Key words: Friction angle, permeability coefficient, physical characteristics, poorly graded sands, correlation, reliability.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

La capacidad de soporte de un suelo, está fundamentado en la determinación de las propiedades mecánicas, específicamente de la resistencia al corte que este experimenta. Asimismo, el suelo tiene la capacidad de drenaje, en este caso está basado en la determinación de las propiedades hidráulicas, particularmente del movimiento del agua a través de un medio poroso, como el de un suelo.

Por un lado, Terzaghi (1925) en los inicios de la Mecánica de Suelos como ciencia, realizó los primeros esfuerzos en entender de forma analítica el comportamiento mecánico de los suelos y su teoría cubre el caso más general para suelos que poseen cohesión y fricción, valores que hoy en día se conocen como parámetros de resistencia al corte. El parámetro de la fricción se define como la fuerza de rozamiento que existe entre partículas de suelo, y es propiedad básicamente de los suelos granulares (gravas y arenas). Actualmente para la representación de este parámetro está dado por el “Ángulo de Fricción”.

Por otro lado, Darcy (1856) en base a una diversa serie de experimentos que realizó en laboratorio, propuso que el movimiento del agua a través de un medio poroso es directamente proporcional al gradiente hidráulico causado por el flujo, donde esta relación a su vez depende del parámetro de la permeabilidad. Parámetro que se define en Mecánica de Suelos, como la facilidad que tiene el suelo de permitirle al agua que lo atravesase sin alterar su estructura interna, y es propiedad de la mayoría de suelos, exclusivamente de los suelos granulares (gravas y arenas). A menudo se le denomina a este parámetro como “Coeficiente de Permeabilidad”.

Para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en suelos granulares, específicamente en arenas, existen metodologías tanto en campo como en laboratorio. Para el caso del ángulo de fricción se cuenta con los ensayos de corte directo, triaxial CD, SPT y el método de la densidad relativa (densidad mínima, máxima y natural), entre los más aplicados. Y para el caso del coeficiente de permeabilidad solo se tiene los

ensayos de permeabilidad de carga constante y permeabilidad en campo mediante bombeo de pozos.

A la fecha las metodologías anteriormente mencionadas, son de poca disponibilidad de laboratorios ya que se debe a la complejidad y al costo que implica realizar este tipo de ensayos, sobre todo aquellos que básicamente consisten en la medición del ángulo de fricción o coeficiente de permeabilidad del suelo in situ. Esto se debe a que la extracción de muestras inalteradas se torna prácticamente imposible por la cohesión nula que poseen las arenas, lo que las hacen complicadas en la etapa de su estudio.

Es así que se hace necesario contar con una metodología alternativa, que permita determinar el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en arenas, de una forma simple en la realización del ensayo, más accesible en cuanto se refiere al costo, y confiable referente a la obtención de resultados con respecto a los ensayos que a menudo se ponen en práctica.

Ante esta problemática, una medida de solución eficiente es la aplicación de la Estadística Inferencial, específicamente de la teoría de correlación. Ahora, al aplicar dicha teoría, es posible correlacionar el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad con respecto a las Características Físicas de las arenas, valores que para su alcance son más accesibles a comparación de los parámetros antes mencionados, ya que para la determinación de estas características requieren uso de equipos, accesorios y herramientas básicas de laboratorio. Convirtiéndola así en una metodología simple, accesible y confiable a la vez.

De acuerdo a la identificación del problema sustentado inicialmente, es importante realizar las siguientes interrogantes para su respectivo estudio:

1.1.1. Pregunta General

¿Es factible proponer una metodología simple, accesible y confiable para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado?

1.1.2. Preguntas Específicas

¿Sería posible determinar el ángulo de fricción en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional?

¿Sería posible determinar el coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional?

¿Cuál sería la confiabilidad del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad determinados en función a las características físicas con respecto a ensayos que a menudo se ponen en práctica?

1.2. Justificación e Importancia

A medida que la Mecánica de Suelos se desarrolló como ciencia, los parámetros del suelo adquirieron importancia para la solución de problemas prácticos que se tuvo y se tiene en la actualidad. Rico y Del Castillo (2005) mencionan: “En Mecánica de Suelos, la resistencia al esfuerzo cortante (ángulo de fricción) constituye la característica fundamental a la que se liga la capacidad de los suelos para adaptarse a las cargas que actúen sobre ellos, sin fallar” (p. 62). Por su parte Juárez y Rico (2011) indican: El coeficiente de permeabilidad de un suelo es un dato cuya determinación correcta es de fundamental importancia para la formación del criterio del proyectista en algunos problemas de Mecánica de Suelos y, en muchos casos, para la elaboración de sus cálculos. (p. 197).

Por otra parte, no solo el ángulo de fricción y el coeficiente de permeabilidad son parámetros de mayor importancia, sino también las características físicas son otras variables de interés para su obtención. El conocimiento de las principales características físicas de los suelos es de fundamental importancia en el estudio de la Mecánica de Suelos, pues mediante su atinada interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas cuando dicho terreno presente diferentes contenidos de humedad. Por lo que se justifica para que sea llevado a cabo la investigación de estos parámetros. (Crespo, 2008, p. 41).

En el desarrollo de la identificación del problema en la presente tesis, se dio a conocer que, para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en arenas,

se cuenta con metodologías que son de poca disponibilidad de laboratorios, al ser complejas a la hora de la realización del ensayo e inaccesibles en referencia al elevado costo que presentan, por lo que se hace necesario contar con una metodología simple, accesible y confiable a la vez.

Ante lo expuesto, se indicó que una medida de solución eficiente desde el punto de vista estadístico, es la aplicación de la Estadística Inferencial a la Mecánica de Suelos, donde la teoría de correlación cumple una función determinante en la solución de problemas prácticos de los suelos. Es de vital importancia poder correlacionar parámetros que faciliten el desenvolvimiento más eficiente de la Ingeniería, y que puedan ser utilizados en forma confiable en el diseño de obras civiles, y dentro de intervalos previamente establecidos, al aplicar los conocimientos matemáticos y de estadística. (González, De Barcia, Sulbaran & Ucar, 2014, p. 136).

Ahora bien, al aplicar la teoría de correlación, se correlacionará el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad con respecto a las características físicas de las arenas. Varios investigadores reconocidos a nivel mundial mencionan que hay relación entre uno y otro parámetro. Juárez y Rico (2011) afirman que la resistencia al cortante (ángulo de fricción) de una masa de suelo friccionante depende de las siguientes características propias del material: compacidad, forma de los granos, distribución granulométrica, resistencia individual de las partículas y tamaño de las partículas. (p. 393). Asimismo, Das (2015) agrega: La conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad de los suelos depende de varios factores: la viscosidad del fluido, la distribución de tamaño de poro, distribución de tamaño de grano, la relación de vacíos, la rugosidad de las partículas minerales y el grado de saturación del suelo. (p. 121). Por lo que se justifica que es posible correlacionar el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad con respecto a las características físicas de las arenas.

Cabe resaltar que, una vez aplicada la correlación entre variables, el producto final será la obtención de ecuaciones matemáticas que permitan la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en función de las características físicas de las arenas, convirtiéndola así en una metodología sencilla, accesible y confiable a la vez.

En lo concerniente a la confiabilidad de resultados se realizará un análisis estadístico entre los valores obtenidos de la metodología planteada con respecto a los valores obtenidos de los ensayos que a menudo se ponen en práctica.

La metodología más utilizada para la determinación del ángulo de fricción es el ensayo de la densidad relativa (densidad mínima, máxima y natural). Bowles (1981) declara que el estado de densidad de un suelo no cohesivo con respecto a sus densidades mínimas y máximas, es un método simple para obtener la densidad de compactación en un suelo no cohesivo. (p. 185). En el caso del coeficiente de permeabilidad es el ensayo de permeabilidad de carga constante. Lambe y Whitman (2004) sustentan: “La permeabilidad de un suelo puede medirse en el laboratorio o en el terreno; las determinaciones de laboratorio son mucho más fáciles de hacer que las determinaciones in situ” (p. 299). De acuerdo a lo sustentado el único método en laboratorio es la permeabilidad de carga constante, por lo que es una metodología bastante conocida y aplicada.

El estudio de suelos arenosos, específicamente de arenas bien y mal graduadas, sobre todo este último; se justifica ya que este tipo de suelo puede ser encontrado en gran parte de la corteza terrestre a distintas profundidades del subsuelo. Un claro ejemplo es lo investigado por Condori, Mamani y Soto (2013) donde llegaron a la conclusión que aproximadamente el 65% de área del campus de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca, cuenta con arena mal graduada (SP) a partir de 1.50 m hasta 2.00 m de profundidad.

En cuanto se refiere a la aplicación de los resultados; La Municipalidad Provincial de San Román (2003 – 2006), a través de El Plan Director de Juliaca (2004 – 2015) declara: Las características del entorno han determinado la dirección del crecimiento urbano de noroeste a sureste (...). Las razones de este comportamiento están dirigidas principalmente por criterios económicos, ya que la topografía plana no demanda mayor gasto en la construcción, porque no implica el corte y relleno de los terrenos para adecuar los edificios; sin embargo, la alta permeabilidad de estos suelos es un factor indispensable a tener en cuenta en el diseño de las estructuras, y que no está siendo medido en su debida magnitud por los inversionistas públicos y privados en construcción, convirtiéndose en un peligro latente para la ciudad. (p. 52).

Por lo que también se justifica que la presente tesis sea llevada a cabo, dado que los resultados serán de utilidad para los propietarios de las zonas urbanas de noroeste a sureste de la ciudad de Juliaca (incluido el campus de la UPeU – Juliaca), al encontrarse en dichas zonas suelos arenosos que presentan ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad, los mismos que son objeto de estudio.

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Proponer una metodología simple, accesible y confiable para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado.

1.3.2. Objetivos Específicos

Obtener una ecuación de regresión para la determinación del ángulo de fricción en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional.

Obtener una ecuación de regresión para la determinación del coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional.

Realizar una evaluación de los valores obtenidos mediante la metodología planteada y validarlas con los valores obtenidos del ensayo de la densidad relativa para el ángulo de fricción y el ensayo de permeabilidad de carga constante para el coeficiente de permeabilidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Investigación

Jiménez (1998) define a los antecedentes como: “Breve reseña de los conocimientos acumulados acerca del problema científico que se pretende abordar con la investigación” (p. 97).

2.1.1. Antecedentes para el Ángulo de Fricción

Desde anterioridad se vino relacionando al ángulo de fricción con las características físicas, comenzando con el II Congreso Internacional de Rotterdam en 1948, (citado por Costet y Sanglerat, 1975) donde se precisa el orden de magnitud de la influencia de factores como la compacidad, forma, grosor, rugosidad y granulometría del suelo. Giraudet (s.f.) dependiéndolo únicamente a la relación de vacíos. Burmister (1948) y Meyerhof (1956) lo relacionaron con la densidad relativa. Caquot y Kérisel (1969) en concordancia a K (la forma de los granos, rugosidad y uniformidad de la granulometría) entre la relación de vacíos. Hansen (1970) en dependencia a la densidad relativa, coeficiente de uniformidad y al diámetro medio de granos. Teferra (1975) en reciprocidad a la relación de vacíos y a los diámetros 85 y 15. Giuliani y Nicoll (1982) en relación a la densidad relativa. Chen (citado por Camacho, 2006) en concordancia a la relación de vacíos y a la compacidad. Por último, en el XIX Congreso Nacional de Ingeniería Civil – Huaraz en 2015, Coll (2015) hace mención de la influencia de la densidad seca, granulometría y el diámetro medio de grano. Todas estas investigaciones tomadas como antecedentes generales, han sido desarrolladas en suelos granulares (gravas y arenas), presentando alguna u otra limitación (Ver Tabla 9).

A continuación, se presenta los principales antecedentes que se tienen en consideración por parte del tesista.

Autor(s): Miura, Maeda, Furukawa & Toki. Año: 1997. Título: “Physical characteristics of sands with different primary properties” (Características físicas de las arenas con diferentes propiedades primarias). Objetivo: A largo plazo de este estudio fue revelar el comportamiento mecánico de suelos con diferentes propiedades primarias. Metodología:

Se prepararon unos 200 materiales granulares, incluyendo arenas y algunos materiales artificiales. Asimismo, se midieron las propiedades físicas primarias, tales como la densidad de grano, forma y distribución de tamaño, además de las propiedades índices, tales como la relación de vacíos máximo y mínimo ($e_{\text{máx}}$ y $e_{\text{mín}}$), la capacidad de trituración y el ángulo de reposo de las arenas, para todas las muestras. Basándose en los resultados de la prueba, se discutieron las relaciones entre las propiedades primarias y las propiedades índices. Conclusión: La relación de vacíos máximo y mínimo están influenciadas significativamente por la distribución del tamaño del grano y la forma del grano, además existe una clara relación lineal entre $e_{\text{máx}}$ y $e_{\text{mín}}$.

Autor(s): Cubrinovski & Ishihara. Año: 2002. Título: "Maximum and minimum void ratio characteristics of sands" (Características de la relación de vacíos máximo y mínimo de las arenas). Objetivo: En este estudio fue investigar la relación de vacíos máximo y mínimo de las arenas y su posible utilización para la caracterización de los materiales. Metodología: Realizado con datos de más de 300 suelos arenosos naturales incluyendo arenas limpias, arenas con finos y arenas que contienen una pequeña cantidad de partículas de tamaño de arcilla, donde se han utilizado para examinar la influencia de finos, la composición de tamaño de grano y la forma de la partícula en $e_{\text{máx}}$ y $e_{\text{mín}}$, además del rango de la relación de vacíos ($e_{\text{máx}}-e_{\text{mín}}$). Se presenta un conjunto de correlaciones empíricas que demuestran claramente la relación entre una y otra variable. Conclusión: Se encontraron tres correlaciones lineales distintas entre $e_{\text{máx}}$ y $e_{\text{mín}}$ para arenas limpias, arenas con 5-15% de finos y arenas con 15-30% de finos respectivamente. Las correlaciones tienen altos coeficientes de correlación ($r = .94$ a $r = .97$) y pueden utilizarse para evaluar aproximadamente $e_{\text{máx}}$ de $e_{\text{mín}}$ y viceversa.

Autor(s): Gomaa & Abdelrahman. Año: 2007. Título: "Correlations between relative density and compaction test parameters" (Correlaciones entre la densidad relativa y los parámetros de prueba de compactación). Objetivo: El principal objetivo ha sido el de investigar las posibles correlaciones entre la densidad relativa (D_R), el coeficiente de uniformidad (C_U), la densidad seca máxima ($\rho_{\text{máx}}$) y el grado de compactación (RC) de los suelos arenosos de la provincia de Fayoum. También se comparó la densidad seca máxima que se midió en laboratorio, y la calculada usando densidad relativa. Metodología: Se llevaron a cabo ensayos físicos para 20 muestras diferentes de arena pura, tales como el análisis granulométrico representado con el coeficiente de uniformidad, densidad específica, relación de vacíos máximo y mínimo, que son parámetros de la densidad relativa, y ensayos mecánicos tales como los ensayos de Proctor modificado y estándar.

Conclusión: La relación proporcional entre la relación de vacíos mínimo y máximo para la misma muestra, da como resultado que la relación de vacíos mínimo es 58% al de la relación de vacíos máximo con un $r^2 = .75$. Por lo que se sugirieron ecuaciones inversamente logarítmicas para estimar la relación de vacíos mínimo y máximo a partir del coeficiente de uniformidad, con un $r^2 = .8524$ y $r^2 = .7639$, respectivamente.

Autor(s): Bareither, Edil, Benson & Mickelson. Año: 2008. Título: "Geological and physical factors affecting the friction angle of compacted sands" (Factores geológicos y físicos que afectan el ángulo de fricción de las arenas compactadas). Objetivo: Este estudio tuvo la finalidad de evaluar los efectos de las características físicas y los factores geológicos sobre la resistencia al corte de las arenas compactadas de Wisconsin que se utilizan como relleno granular para las paredes de tierra estabilizadas y las pendientes reforzadas del suelo. Metodología: Las propiedades físicas y de resistencia al corte se determinaron para 30 arenas compactadas recogidas de una amplia gama de depósitos geológicos. Las relaciones entre el comportamiento de fuerza/deformación, el origen geológico y las propiedades físicas se utilizaron para clasificar las arenas en cuatro grupos de ángulo de fricción. Conclusión: Las arenas con el ángulo de fricción más bajo se derivan del desgaste de las areniscas subyacentes y tienden a ser medianas, finas y redondeadas; arena mal clasificada. Las arenas con el ángulo de fricción más alto provienen de la actividad glacial reciente y tienden a ser más gruesas, bien clasificadas y/o angulares. Se desarrolló un modelo de regresión multivariable que puede usarse para predecir el ángulo de rozamiento de arenas compactadas de orígenes geológicos basadas en el tamaño de partícula efectivo (D_{10}), la densidad seca máxima ($\rho_{m\acute{a}x}$) y la redondez de Krumbein (R_s), con un $r^2 = .83$.

Autor(s): Soto y Mamani. Año: 2013. Título: "Influencia de los parámetros granulométricos en la determinación de las propiedades mecánicas de suelos arenosos". Objetivo: En la mencionada investigación se propuso plantear un método donde sea posible obtener los parámetros de resistencia al corte a partir de resultados de un análisis granulométrico. Metodología: Se estudiaron 13 muestras de diferentes tipos de curvas granulométricas ya sean cóncavas, convexas y tipos "S" en suelos arenosos. Las mismas que fueron construidas en laboratorio a partir de diversas dosificaciones por tamaños para un mismo tipo de arena, con la finalidad de observar su comportamiento de manera controlada. Proponiendo de tal forma un coeficiente granulométrico denominado C_A (coeficiente de arenas), que es igual a la relación del D_{30}/D_{10} , producto de la relación a las ya existentes (C_u , C_c), correlacionándolo con la densidad seca máxima y mínima, además

de contar con la densidad natural para así obtener la densidad relativa, y determinar el ángulo de fricción. Conclusión: Los resultados que se han podido obtener con la metodología propuesta, brinda un alto grado de confiabilidad al determinar la densidad seca máxima y mínima a partir del C_u , con un $r^2 = .7464$ y $r^2 = .7135$, respectivamente.

Autor(s): Riquelme y Dorador. Año: 2014. Título: "Metodología para determinar densidades máxima y mínima en suelos granulares gruesos a partir de ensayos de laboratorio de escala reducida". Objetivo: Establecer correlaciones que puedan ser usadas para determinar la densidad relativa (D_R) de un suelo granular grueso. Metodología: Se propone a continuación una metodología que apunta a la evaluación de e_{\min} y e_{\max} en base a granulometrías gruesas con contenido de finos menor a 10% y/o granulometrías de alto C_u . Conclusión: Directamente se pudo comprobar el hecho de que a mayores valores del coeficiente de uniformidad (C_u), el e_{\min} y e_{\max} , disminuyen. También se pudo confirmar dentro de la relación lineal e_{\max} vs e_{\min} que al crecer el D_{50} de una muestra, el e_{\max} experimenta un leve descenso. Así, mediante el procesamiento de esta base de datos se ha propuesto una metodología para la estimación de índices de vacíos mínimos y máximos, la cual se complementa con el uso de las curvas homotéticas en la extrapolación del e_{\min} y e_{\max} .

Entonces se concluye que el comportamiento mecánico de los suelos granulares (gravas y arenas), específicamente la resistencia al corte (ángulo de fricción), está notablemente influenciado por sus propiedades y/o características físicas, principalmente por la granulometría a través de la distribución del tamaño de grano, que puede conocerse con aceptabilidad por medio del coeficiente de uniformidad (C_u), dado que ha sido el parámetro fundamental con relación a la determinación del ángulo de fricción.

Cabe destacar que, en los antecedentes citados, no resaltan a la textura de curva granulométrica (T_{CG}) ni a la gravedad específica (G_s), como parámetros influyentes, por lo que es justificable realizar la presente tesis, ya que toman en cuenta a dichas variables para el estudio del ángulo de fricción.

2.1.2. Antecedentes para el Coeficiente de Permeabilidad

Desde anterioridad también se vino relacionando al coeficiente de permeabilidad con las características físicas, dando iniciativa Hazen (1892) relacionándolo con el diámetro efectivo. Casagrande (s.f.) en relación únicamente a la relación de vacíos. Slichter (1898)

con dependencia a la porosidad y al diámetro efectivo. Kozeny-Carman (1956) dependiéndolo a la porosidad y al diámetro efectivo. Kenney et al. (1984) en reciprocidad con el diámetro 5. NAVFAC (citado por Chapuis et al., 1989) en dependencia a la relación de vacíos y al diámetro efectivo. USBR (citado por Vukovic y Soro, 1992) relacionándolo con el diámetro 20 y el diámetro efectivo. Breyer (citado por Kresic 1998) en reciprocidad al coeficiente de uniformidad y al diámetro efectivo. Terzaghi (citado por Odong, 2007) en relación a la porosidad y al diámetro efectivo. Todas estas investigaciones tomadas como antecedentes generales, han sido desarrolladas en suelos granulares (gravas y arenas), presentando alguna u otra limitación (Ver Tabla 12).

Enseguida se presenta los principales antecedentes que se tienen en consideración por parte del tesista.

Autor(s): Amer & Awad. Año: 1974. Título: "Permeability of Cohesionless Soils" (Permeabilidad de los suelos sin cohesión). Objetivo: En el presente estudio fue el de describir un trabajo experimental diseñado para resaltar los efectos del coeficiente de uniformidad (C_U), y el diámetro efectivo del grano (D_{10}), sobre la permeabilidad de la matriz porosa. El concepto de tortuosidad puede explicarse mejor en términos de factores C_U , D_{10} , e (relación de vacíos) y un factor de forma. Metodología: Se dan detalles de la preparación de 36 muestras (divididas en 4 grupos) tomadas de la matriz de arena natural y suelos de grava para estudiar el efecto del C_U y e sobre la permeabilidad. La conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad (k) se midió experimentalmente para las muestras preparadas a diferentes grados de compactación. Los valores medidos de k no ceden al análisis directo y los ajustes eran inevitables. Los resultados experimentales se presentan y analizan. Conclusión: El factor alfa, que incluye el efecto de forma, está relacionado con el diámetro efectivo y se encuentra que es independiente de la relación de vacíos para suelos sin cohesión. Se presenta una ecuación empírica que incluye los factores disponibles que afectan la permeabilidad y se recomienda que se aplique para determinar la permeabilidad de los suelos sin cohesión.

Autor(s): Alyamani & Sen. Año: 1993. Título: "Determination of hydraulic conductivity from grain-size distribution curves" (Determinación de la conductividad hidráulica a partir de las curvas de distribución del tamaño de grano). Objetivo: El principal objetivo ha sido determinar la conductividad hidráulica por medio de la distribución del tamaño de grano, representados mediante curvas. Metodología: Se ha utilizado una gama de parámetros de distribución de tamaño de granos únicos, llamados representativos, en los intentos de

derivar relaciones estadísticas entre la conductividad hidráulica de un medio deposicional y la distribución del tamaño de grano. La metodología propuesta está documentada con datos de Australia y Arabia Saudita. Conclusión: Los métodos actuales para relacionar la conductividad hidráulica con la distribución del tamaño del grano se basan en un único parámetro de distribución de grano tal como el diámetro efectivo, la media geométrica, la mediana, la desviación estándar, etc. Por lo que se propone un procedimiento alternativo que relaciona la conductividad hidráulica a la pendiente inicial y la intersección de la curva de distribución del tamaño de grano.

Autor(s): Chapuis. Año: 2004. Título: "Predicting the saturated hydraulic conductivity of sand and gravel using effective diameter and void ratio" (Predicción de la conductividad hidráulica saturada de arena y grava usando diámetro efectivo y relación de vacíos). Objetivo: Este trabajo evalúa métodos para predecir la conductividad hidráulica saturada (k) de arena limpia y grava. Metodología: Se evalúa utilizando datos de laboratorio publicados para muestras de arena y grava homogeneizadas, con un diámetro efectivo (D_{10}) entre 0,13 y 1,98 mm y una relación de vacíos (e) entre 0,4 y 1,5. Conclusión: Se propone una nueva ecuación, basada en una ecuación de mejor ajuste en un gráfico del logaritmo de k medido frente al logaritmo de $D_{10}^2 \cdot e^3 / (1+e)$, obteniéndose un $r^2 = .91$. Utilizando los valores de D_{10} y e , la nueva ecuación predice un valor k normalmente entre 0,5 y 2,0 veces el valor k medido para los datos considerados. Se muestra que la capacidad predictiva de esta nueva ecuación puede extenderse a suelos naturales no plásticos limosos, pero no a suelos triturados o suelos plásticos limosos.

Autor(s): Onur. Año: 2014. Título: "Predicting the permeability of sandy soils from grain size distributions" (Predicción de la permeabilidad de suelos arenosos a partir de distribuciones de tamaño de grano). Objetivo: En la mencionada investigación tuvo como finalidad investigar las relaciones cuantitativas entre los índices de permeabilidad y distribución del tamaño de grano, tales como el tamaño de partícula efectivo (D_{10}), coeficiente de uniformidad (C_u), coeficiente de curvatura (C_c), porcentaje de fracción de arena gruesa en peso de muestra (%C), porcentaje de fracción de arena media en peso de la muestra (%M) y porcentaje de fracción de arena fina en peso de la muestra (%F) para determinar si estas relaciones podrían utilizarse para estimaciones confiables de permeabilidad. Metodología: Se analizaron en el laboratorio seis muestras de suelos arenosos, que van desde bien clasificadas hasta mal clasificadas, para determinar su distribución de tamaño de grano, densidad seca máxima ($\rho_{m\acute{a}x}$) y contenido óptimo de agua (CHO). Asimismo, se ensayó la permeabilidad usando el ensayo de permeabilidad de

cabeza constante. Conclusión: Los nuevos valores del índice de permeabilidad para los seis suelos se correlacionaron con sus correspondientes valores de permeabilidad, resultando en una ecuación cuadrática de segundo orden con un valor del $r^2 = .76$.

Entonces se concluye que el movimiento del agua a través de los suelos granulares (gravas y arenas), específicamente de la permeabilidad (coeficiente de permeabilidad), está notablemente influenciado también por las características físicas, principalmente por la distribución del tamaño de grano, coeficiente de uniformidad (C_u), diámetro efectivo (D_{10}) y la relación de vacíos (e).

Cabe destacar que, en los antecedentes citados, no resaltan a la textura de curva granulométrica (T_{CG}), como parámetro influyente, por lo que es justificable realizar la presente tesis, ya que toma en cuenta a dicha variable para el estudio del coeficiente de permeabilidad.

En resumen, a lo largo del Ítem 2.1, se ha desarrollado y analizado los antecedentes de investigación, desde los más históricos hasta los más actuales, logrando de esta manera conocer distintos puntos de vista de cada investigador, teniendo un mismo objetivo; determinar el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad, a partir de las características físicas de arenas. Y lo que se rescata es que el tesista propone el estudio de la textura de curva granulométrica como parámetro influyente, cosa que en los antecedentes no se tiene en consideración.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. El Suelo y su Origen

Das (2015) sustenta: “Para propósitos de ingeniería, el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas” (p. 1). Ver Figura 1.

Es común creencia la de que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización. Pero en realidad se trata de un conjunto con organización definida y propiedades que varían “vectorialmente”. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la

horizontal. El suelo tiene perfil, y este es un hecho del que se hace abundante aplicación. (Juárez & Rico, 2011, p. 34).



Figura 1. Fases que constituyen el suelo, en este caso representadas en un agregado o “terron”, el cual está formado por sólidos, agua y aire. Adaptado de “*Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales*”, por Carrasco J. y Riquelme J., 2010, p. 48.

Das (2015) también explica: Los granos minerales que forman la fase sólida de un agregado del suelo son el producto de la intemperización y la erosión de la roca (...). Con base en su origen, las rocas pueden dividirse en tres tipos básicos: ígneas, sedimentarias y metamórficas. (p. 16).

La meteorización o intemperismo es el proceso de descomposición de las rocas por procesos mecánicos y químicos en fragmentos más pequeños. La meteorización mecánica puede ser causada por la expansión y contracción de las rocas a partir de la ganancia y la pérdida continua de calor, que da lugar a la desintegración final. Lo que conlleva al origen de los suelos granulares, tales como son las gravas y las arenas. En la meteorización química, los minerales de la roca originales se transforman en nuevos minerales por reacción química. Dando así origen a los suelos finos; limos y arcillas. (Das, 2015, pp. 18-19).

Por otra parte, la acción del intemperismo da origen en general a los suelos inorgánicos. Además, es importante indicar que los restos de la vegetación y otros restos orgánicos, al ser descompuestos, dejan como residuo partículas finas denominadas humus, formándose de esa manera los suelos orgánicos. (Crespo, 2008, pp. 20-21).

2.2.2. Tipos de Suelo

De acuerdo a Crespo (2008) divide al suelo en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición mecánica y/o química de las rocas; es decir suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico. (p. 21).

2.2.2.1. Suelos Inorgánicos (Suelos Residuales y Transportados)

Si en los suelos inorgánicos el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó, da origen a un suelo residual; en caso contrario, forman un suelo transportado, cualquiera haya sido el agente transportador (por gravedad: talus; por agua: aluviales o lacustres; por viento: eólicos; por glaciares: depósitos glaciales). (Crespo, 2008, p. 21).

Das (2015) declara: La naturaleza de un depósito de suelo residual por lo general depende de la roca madre. Cuando las rocas madre, como el granito y gneis, se someten a la intemperie, la mayoría de los materiales son propensos a permanecer en su lugar. Estos depósitos de suelos suelen tener una capa superior de material arcilloso o limoso. Estas capas, a su vez, están generalmente sustentadas por una roca parcialmente intemperizada y luego por la roca madre (Ver Figura 2). La profundidad de esta roca puede variar ampliamente, incluso dentro de una distancia de unos pocos metros. (p. 23).

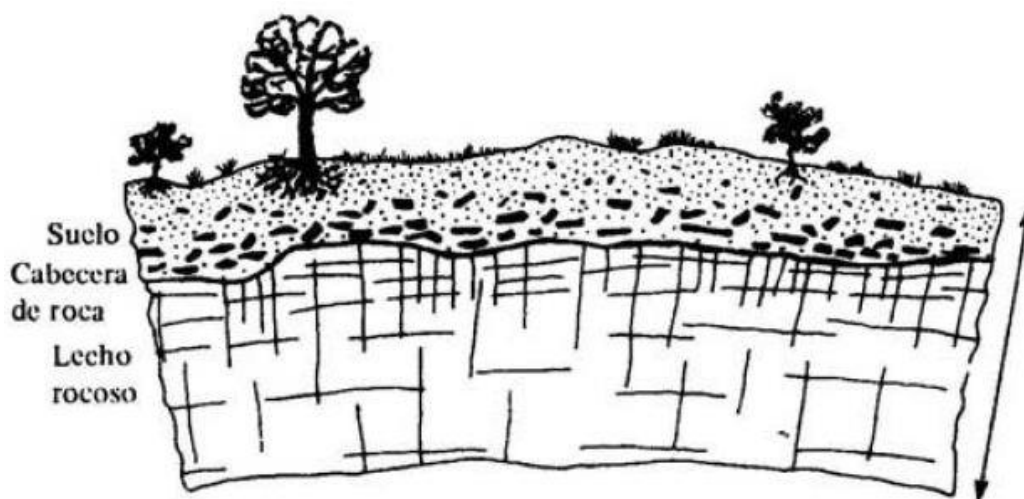


Figura 2. Zona superficial intemperizada sobre la roca madre. Adaptado de "Geología para ingenieros geotécnicos", por Harvey J. C., 1987, p. 14. Copyright 1987 por LIMUSA.

Se ha visto que: Los productos del ataque de los agentes de intemperismo pueden quedar en el lugar, directamente sobre la roca de la cual se derivan, dando así origen a suelos llamados residuales; sin embargo, estos productos pueden también ser removidos del lugar de formación, por los mismos agentes geológicos y redepositados en otra zona. Así se generan suelos que sobreyacen sobre estratos sin relación directa con ellos (Ver Figura 3); a estos suelos se les denomina transportados. (Juárez & Rico, 2011, p. 35).

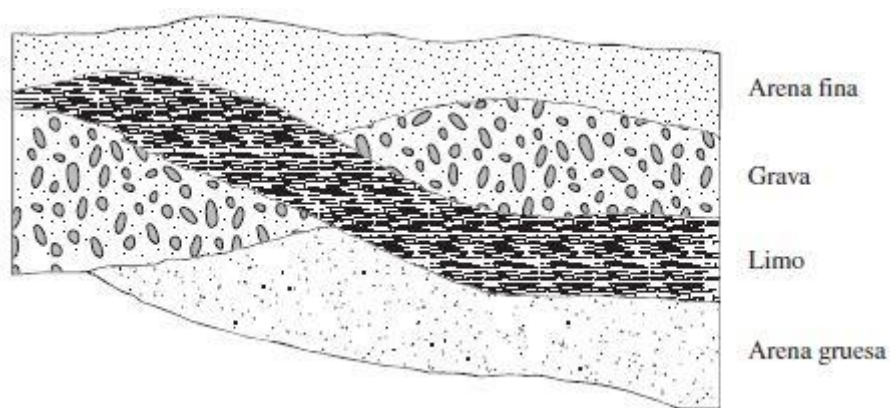


Figura 3. Sección transversal de un depósito fluvial. Adaptado de “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, por Das B. M., 2015, p. 24. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.

2.2.2.2. Suelos Orgánicos

Los suelos orgánicos se encuentran generalmente en zonas bajas donde el nivel freático está cerca o por encima de la superficie del suelo. La presencia de un alto nivel freático ayuda en el crecimiento de las plantas acuáticas que, al descomponerse, forman el suelo orgánico, donde muestran características como de un contenido de humedad de 200 a 300%, alta compresibilidad y derivan grandes asentamientos a partir de la consolidación secundaria. (Das, 2015, p. 27).

Complementando la definición de Das (2015) sobre el suelo orgánico, Crespo (2008) menciona que este tipo de suelo se forma casi siempre in situ. Y que además es muy común en las zonas pantanosas, en las cuales los restos de vegetación acuática llegan a formar verdaderos depósitos de gran espesor, conocidos con el nombre genérico de turbas, caracterizándose por su color negro o café oscuro. (p. 21).

2.2.3. Tamaño de Partícula del Suelo

Independientemente de su origen, los tamaños de partículas que conforman el suelo pueden variar en un amplio intervalo. Los suelos son generalmente llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas dentro del suelo (...). Las gravas son fragmentos de rocas con partículas ocasionales de cuarzo, feldespato y otros minerales. En las partículas de arena predominan el cuarzo y el feldespato. A veces también pueden estar presentes granos de otros minerales. Los limos son las fracciones microscópicas del suelo que consisten en fragmentos de cuarzo muy finos y algunas partículas en forma laminar. Las arcillas son en su mayoría partículas en forma de láminas microscópicas y submicroscópicas de mica, minerales de arcilla y otros minerales. (Das, 2015, p. 28).

Para describir los suelos por su tamaño de partícula Das (2015) presenta varias organizaciones han desarrollado límites de separación de tamaño de suelo. La Tabla 1 muestra los límites de separación de tamaño de suelo desarrollado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts, el Departamento de Agricultura de E.U., la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U. y la Oficina de Reclamación de E.U. (p. 28).

Tabla 1.
Límites de separación de tamaño de suelo

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.0075 a 0.002	< 0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., limos y arcillas) < 0.075	

Nota: Adaptado de “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, por Das B. M., 2015, p. 28. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.

La Tabla 1 puede ser representado gráficamente por la Figura 4 exhibida a continuación:

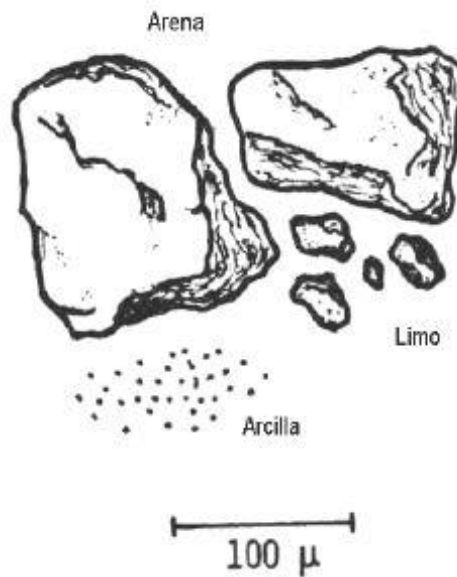


Figura 4. Relación en tamaño de partículas de arena, limo y arcilla. Adaptado de “*Propiedades físicas del suelo*”, por Rucks L., García F., Kaplán A., Ponce de León J. y Hill M., 2004, párr. 9.

2.2.4. Clasificación del Suelo

Dada la gran variedad de suelos que se representa en la naturaleza, la Mecánica de Suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos, tal como se dio a conocer anteriormente por la Tabla 1. Cada uno de estos métodos tiene, prácticamente su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado (...). Hoy en día es aceptado por la mayoría el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ya que satisface los diferentes campos de aplicación de la Mecánica de Suelos. (Crespo, 2008, p. 87).

2.2.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS

El sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través del tamiz #200; las partículas gruesas son mayores que dicho tamiz y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino, si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas. Los suelos gruesos o granulares se subdividen a su vez en gravas y arenas, donde se separan con el tamiz #4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en el tamiz #200) no pasa el tamiz #4, y es del grupo genérico S, en caso contrario. Estos suelos dependen también de su gradación, al ser clasificadas como bien graduada y mal graduada, donde se deberá adicionar al grupo genérico la letra W (bien

graduada) y la letra P (mal graduada), según sea el caso. (Juárez & Rico, 2011, pp. 152-153).

El presente sistema de clasificación hace uso de la Tabla 2, las cuales están en función de las características propias del material, según sea el tipo de suelo para su respectiva clasificación.

Tabla 2.
Símbolos de grupo para la clasificación de suelos según SUCS

División Principal	Criterios	Símbolo de Grupo
Suelo de grano grueso, $R_{200} > 50$		
Suelo gravoso $R_4 > 0.5 R_{200}$	$F_{200} < 5, C_U \geq 4, 1 \leq C_z \leq 3$	GW
	$F_{200} < 5, C_U < 4$ y/o C_z no entre 1 y 3.	GP
	$F_{200} > 12, IP < 4$, o Límites de Atterberg debajo de la línea A (Figura 2.1)	GM
	$F_{200} > 12, IP > 7$, y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 2.1)	GC
	$F_{200} > 12, LL < 50, 4 \leq IP \leq 7$ y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 2.1)	GC-GM ^c
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de GW y los criterios de plasticidad de GM.	GW-GM ^c
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de GW y los criterios de plasticidad de GC.	GW-GC ^c
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de GP y los criterios de plasticidad de GM.	GP-GM ^c
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de GP y los criterios de plasticidad de GC.	GP-GC ^c
Suelo arenoso, $R_4 \leq 0.5 R_{200}$	$F_{200} < 5, C_U \geq 6, 1 \leq C_z \leq 3$	SW
	$F_{200} < 5, C_U \geq 4$ y/o C_z no entre 1 y 3.	SP
	$F_{200} > 12, IP < 4$, o Límites de Atterberg debajo de la línea A (Figura 2.1)	SM
	$F_{200} > 12, IP > 7$, y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 2.1)	SC
	$F_{200} > 12, LL < 50, 4 \leq IP \leq 7$ y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A.	SC-SM ^c
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de SW y los criterios de plasticidad de SM.	SW-SM ^c
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de SW y los criterios de plasticidad de SC.	SW-SC ^c
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de SP y los criterios de plasticidad de SM.	SP-SM ^c
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de SP y los criterios de plasticidad de SC.	SP-SC ^c
Suelo de grano fino (inorgánico), $R_{200} \leq 50$		
Suelo limoso y arcilloso, $LL < 50$	$IP < 4$, o Límites de Atterberg debajo de la línea A (Figura 2.1)	ML
	$IP > 7$, y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 2.1)	CL
	$4 \leq IP \leq 7$ y Límites de Atterberg arriba de la línea A (Figura 2.1)	CL-ML ^c
Suelo limoso y arcilloso, $LL \geq 50$	Límites de Atterberg debajo de la línea A (Figura 2.1)	MH
	Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 2.1)	CH
Suelo de grano fino (orgánico)		
Limo orgánico y arcilla, $LL < 50$	$\frac{LL_{\text{no secado en horno}}}{LL_{\text{secado en horno}}} < 0.75$	OL
Limo orgánico y arcilla, $LL \geq 50$	$\frac{LL_{\text{no secado en horno}}}{LL_{\text{secado en horno}}} < 0.75$	OH
	Turba, los y otros suelos altamente orgánicos.	Pt

Nota: Adaptado de "Problemas resueltos de mecánica de suelos", por Campos J. y Guardia G. M., 2012, p. 759. Copyright 2012 por WH.

Además, Das (2015) plantea que para clasificar apropiadamente a un suelo granular de acuerdo con este sistema, se deberá tener en consideración la siguiente información: Porcentaje de grava (fracción que pasa por el tamiz de 3" y es retenida en el tamiz #4), porcentaje de arena (fracción que pasa el tamiz #4 y es retenida en el tamiz #200), porcentaje de limo y arcilla (fracción de finos que pasa el tamiz #200), coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_c). (p. 84).

2.2.5. Características Físicas del Suelo

Whitlow (1999) menciona: Las propiedades o características físicas básicas de un suelo son las que se requieren para definir su estado físico. Para los propósitos del análisis y diseño de ingeniería, es necesario cuantificar las tres fases constituyentes (sólida, líquida y gaseosa) y poder expresar las relaciones entre ellas en términos numéricos. (p. 51).

2.2.5.1. Gravedad Específica

La gravedad específica de los sólidos del suelo se utiliza en diversos cálculos en Mecánica de Suelos y se puede determinar con precisión en el laboratorio. La Tabla 3 muestra la gravedad específica de algunos minerales comunes que se encuentran en los suelos. La mayoría de los minerales tienen una gravedad específica que cae dentro de un rango general de 2.6 a 2.9. El peso específico de los sólidos de arena, que está compuesta principalmente de cuarzo, se puede estimar en alrededor de 2.65 para suelos arcillosos y limosos, pudiendo variar desde 2.6 hasta 2.9. (Das, 2015, p. 33).

Tabla 3.
Gravedad específica de algunos suelos

Tipo de suelo	G_s
Arena de cuarzo	2.64-2.66
Limo	2.67-2.73
Arcilla	2.70-2.9
Marga	2.60-2.75
Loess	2.65-2.73
Turba	1.30-1.9

Nota: G_s = Gravedad específica. Adaptado de "Fundamentos de ingeniería de cimentaciones", por Das B. M., 2012, p. 10. Copyright 2012 por CENGAGE Learning.

2.2.5.2. Relaciones Peso – Volumen

Das (2015) da a conocer: La Figura 5a muestra un elemento de suelo de volumen V y el peso W , ya que existiría en un estado natural. Para desarrollar las relaciones de peso-volumen, separamos las tres fases, es decir, agua y aire, como se muestra en la Figura 5b. Por lo tanto, el volumen total de una muestra de suelo puede ser expresado como: (p. 49).

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (1)$$

Donde:

V_s = Volumen de sólidos del suelo.

V_v = Volumen de vacíos.

V_w = Volumen de agua en los vacíos.

V_a = Volumen de aire en los vacíos.

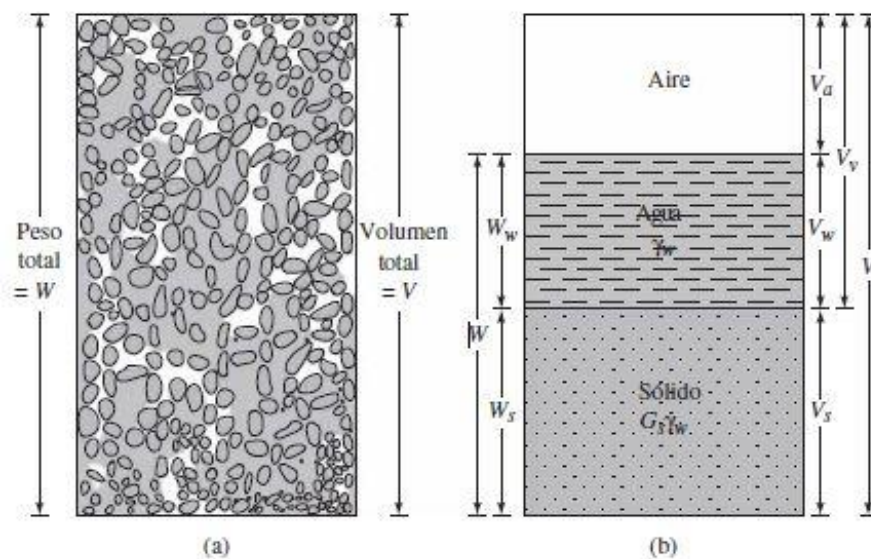


Figura 5. (a) Elemento de suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo. Adaptado de "Fundamentos de ingeniería geotécnica", por Das B. M., 2015, p. 50. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.

Suponiendo que el peso del aire es insignificante, podemos dar el peso total de la muestra como:

$$W = W_s + W_w \quad (2)$$

Donde: W_s es el peso de sólidos del suelo y W_w el peso del agua.

Las relaciones de volumen de uso común para las tres fases en un elemento de suelo son la relación de vacíos, la porosidad y el grado de saturación. La relación de vacíos (e) se define como la razón del volumen de vacíos al volumen de sólidos, o. (Das, 2015, p. 50).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3)$$

La porosidad (n) se define como la razón del volumen de vacíos al volumen total:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (4)$$

El grado de saturación (S) se define como la razón del volumen de agua al volumen de vacíos:

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (5)$$

Las relaciones de peso son el contenido de humedad y el peso unitario. El contenido de humedad (w) también se conoce como contenido de agua y se define como la razón del peso del agua al peso de los sólidos en un volumen dado de suelo, o. (Das, 2015, p. 51).

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (6)$$

El peso unitario (γ) es el peso del suelo por unidad de volumen:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (7)$$

En ocasiones es necesario conocer el peso por unidad de columna de suelo excluyendo el agua. Esto se conoce como peso unitario, γ_d . Por lo tanto:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (8)$$

Das (2015) agrega que el peso unitario se expresa en kilonewtons por metro cúbico (kN/m³). Ya que el newton es una unidad derivada, a veces puede ser conveniente trabajar con densidades (ρ) de suelo. La unidad de densidad SI es el kilogramo por metro cúbico (kg/m³) o gramo por centímetro cúbico (gr/cm³). Podemos escribir las ecuaciones de densidad (similares a las Ecuaciones 7 y 8) como. (pp. 51-52).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (9)$$

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (10)$$

Donde:

ρ = Densidad de suelo (gr/cm³).

ρ_d = Densidad seca del suelo (gr/cm³).

m = Masa total de la muestra de suelo (gr).

m_s = Masa de sólidos del suelo de la muestra (gr).

2.2.5.3. Relaciones entre Peso Unitario, Relación de Vacíos, Contenido de Humedad y Gravedad Específica en un Suelo Saturado

Das (2015): Para obtener una relación entre el peso unitario (o densidad), relación de vacíos y contenido de humedad, considere un volumen de suelo en el que el volumen de los sólidos del suelo es 1, como se muestra en la Figura 6. Si el volumen de los sólidos del suelo es 1, entonces el volumen de vacíos es numéricamente igual a la relación de vacíos, e . Los pesos de sólidos del suelo y el agua pueden darse como. (p. 52).

$$W_s = G_s \gamma_w ; G_s = \frac{W_s}{\gamma_w} \quad (11)$$

$$W_w = e \gamma_w \quad (12)$$

Donde:

G_s = Gravedad específica de sólidos del suelo.

γ_w = Unidad de peso de agua.

e = Relación de vacíos del suelo.

Como la muestra de suelo está saturada, los espacios vacíos se llenan completamente con agua (Ver Figura 6), la relación de peso unitario saturado se puede deducir de una manera similar: (Das, 2015, p. 54).

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \gamma_w + e \gamma_w}{1 + e} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e} \quad (13)$$

Donde: γ_{sat} = Peso unitario saturado del suelo.

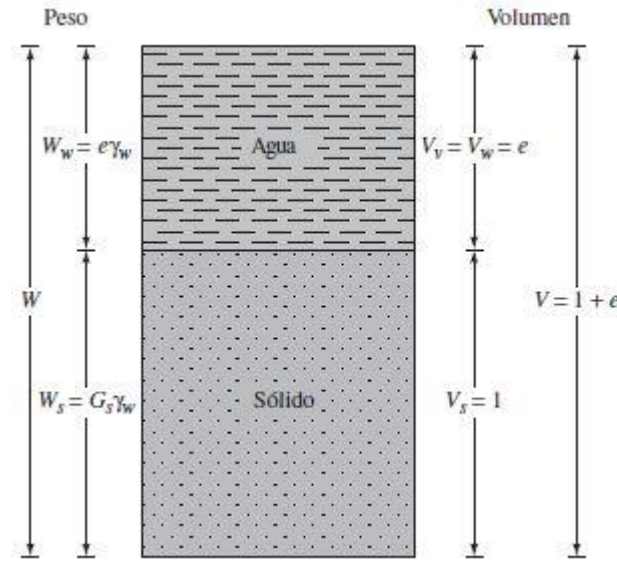


Figura 6. Elemento de suelo saturado con un volumen de sólidos de suelo igual a 1. Adaptado de “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, por Das B. M., 2015, p. 54. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.

Como se ha mencionado, debido a que es conveniente trabajar con densidades, las siguientes ecuaciones son útiles: (Das, 2015, p. 54).

$$\text{Densidad} = \rho = \frac{(1 + w) G_s \rho_w}{1 + e} \quad (14)$$

$$\text{Densidad seca} = \rho_d = \frac{G_s \rho_w}{1 + e} \quad (15)$$

$$\text{Densidad saturada} = \rho_{sat} = \frac{(G_s + e) \rho_w}{1 + e} \quad (16)$$

Donde: ρ_w = Densidad del agua = 1000 kg/m³ o 1 gr/cm³.

Algunos valores típicos de la porosidad, relación de vacíos, contenido de humedad y peso unitario para los suelos típicos en estado natural, es presentada enseguida por la Tabla 4.

Tabla 4.

Porosidad, relación de vacíos y peso unitario de suelos típicos en estado natural

Descripción del suelo	Porosidad n (%)	Relación de vacíos e	Conte- nido de hu- medad w (%)	Peso uni- tario	
				γ_s g/cm ³	γ
1. Arena uniforme, suelta	46	0,85	32	1,43	1,89
2. Arena uniforme, densa	34	0,51	19	1,75	2,09
3. Arena graduada, suelta	40	0,67	25	1,59	1,99
4. Arena graduada, densa	30	0,43	16	1,86	2,16
5. Morena glaciár con partículas de todo tamaño	20	0,25	9	2,12	2,32
6. Arcilla glaciár blanda	55	1,2	45	..	1,77
7. Arcilla glaciár resistente	37	0,6	22	..	2,07
8. Arcilla blanda ligeramente orgánica	66	1,9	70	..	1,58
9. Arcilla blanda muy orgánica	75	3,0	110	..	1,43
10. Bentonita blanda	84	5,2	194	..	1,27

Nota: Adaptado de "Mecánica de suelos en la ingeniería práctica", por Terzaghi K. y Peck R. B., 1973, p. 28. Copyright 1973 por EL ATENEO.

2.2.5.4. Distribución Granulométrica

Sobre la distribución granulométrica Das (2012) sustenta: En cualquier masa de suelo, los tamaños de los granos varían en gran medida. Para clasificar apropiadamente un suelo, se debe conocer su distribución granulométrica. La distribución granulométrica de un suelo grueso se determina por lo general mediante un análisis granulométrico con mallas (...). Un análisis granulométrico con mallas se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco bien pulverizado y haciéndolo pasar a través de un apilo de mallas

con aberturas cada vez más pequeñas que dispone de una charola en su parte inferior. Se mide la cantidad de suelo retenido en cada malla y se determina el porcentaje acumulado del suelo que pasa a través de cada una. (p. 2).

Tabla 5.
Tamaños de mallas estándares en EE.UU.

Sieve no.	Opening (mm)	Sieve no.	Opening (mm)
4	4.75	35	0.500
5	4.00	40	0.425
6	3.35	50	0.355
7	2.80	60	0.250
8	2.36	70	0.212
10	2.00	80	0.180
12	1.70	100	0.150
14	1.40	120	0.125
16	1.18	140	0.106
18	1.00	170	0.090
20	0.850	200	0.075
25	0.710	270	0.053
30	0.600		

Nota: Adaptado de “*Principles of geotechnical engineering*”, por Das B. M. & Sobhan K., 2014, p. 49. Copyright 2014 por CENGAGE Learning.

El porcentaje de finos en cada malla, determinado por un análisis con mallas (Ver Tabla 5), se traza en papel semilogarítmico, como se muestra en la Figura 7. Observe que el diámetro de grano, D , está trazado en la escala logarítmica y que el porcentaje de finos está trazado en la escala aritmética. (Das, 2012, p. 3).

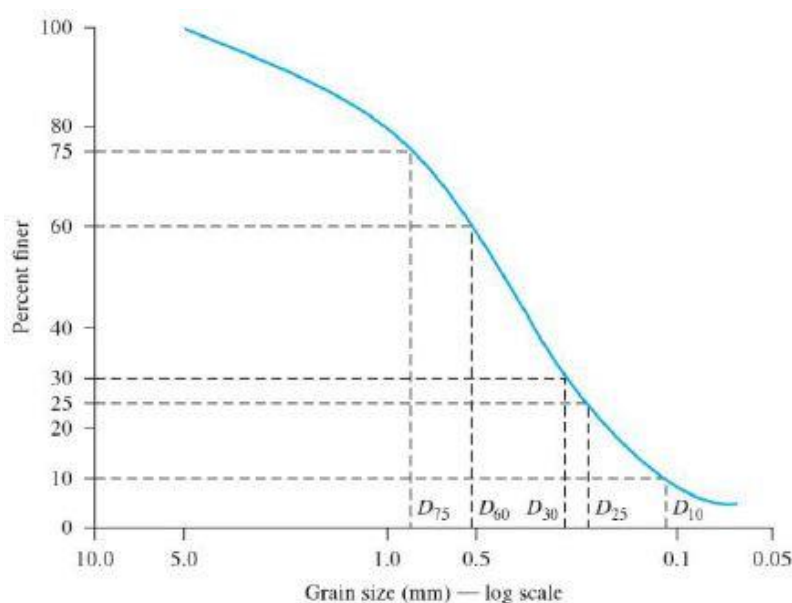


Figura 7. Definición de D_{75} , D_{60} , D_{30} , D_{25} , y D_{10} . Adaptado de “*Introduction to geotechnical engineering*”, por Das B. M. & Sivakugan N., 2016, p. 12. Copyright 2016 por CENGAGE Learning.

De acuerdo a Das (2012) se pueden determinar dos parámetros a partir de las curvas de distribución granulométrica de suelos de grano grueso: el coeficiente de uniformidad (C_U) y el coeficiente de graduación, o coeficiente de curvatura (C_C). Estos coeficientes son: (p. 3).

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (17)$$

$$C_C = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \quad (18)$$

Donde: D_{10} , D_{30} y D_{60} son los diámetros correspondientes al porcentaje de finos que pasa 10, 30 y 60%, respectivamente.

Según Sowers G. B. y Sowers G. F. (1972): “Otra medida de medir la uniformidad, que se emplea frecuentemente en trabajos geológicos, es el coeficiente de distribución o clasificación, S_o , que se define por la relación” (pp. 43-44).

$$S_o = \sqrt{\frac{D_{75}}{D_{25}}} \quad (19)$$

Donde: D_{25} y D_{75} son los diámetros correspondientes al porcentaje de finos que pasa 25 y 75%, respectivamente.

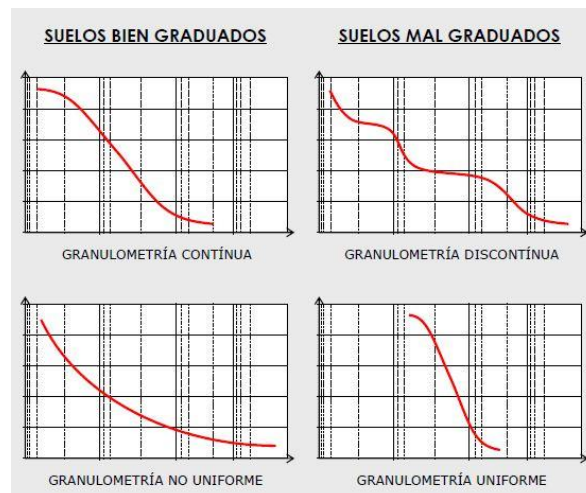


Figura 8. Interpretación de la curva granulométrica. Adaptado de “Manual de carreteras: construcción y mantenimiento”, por Bañón L. y Beviá J. F., 2010, p. 8.

La curva granulométrica puede interpretarse por su granulometría; para suelos bien graduados se divide en granulometría continua y no uniforme, y para suelos mal graduados, en granulometría discontinua y uniforme, de acuerdo a Bañon y Beviá (2010), tal como se muestra en la Figura 8, presentada anteriormente.

Asimismo, Crespo (2008) hace referencia a especificaciones donde clasifica a la curva granulométrica por medio de su textura, al dividir las en tres grupos; curvas granulométricas de textura abierta, de textura media y de textura cerrada (Ver Figura 9).

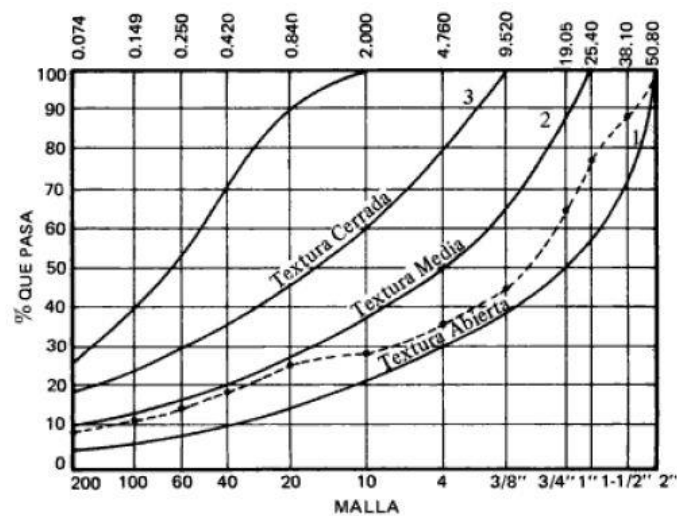


Figura 9. Curvas granulométricas de diferentes texturas. Adaptado de “Mecánica de suelos y cimentaciones”, por Crespo C., 2008, p. 50. Copyright 2008 por LIMUSA.

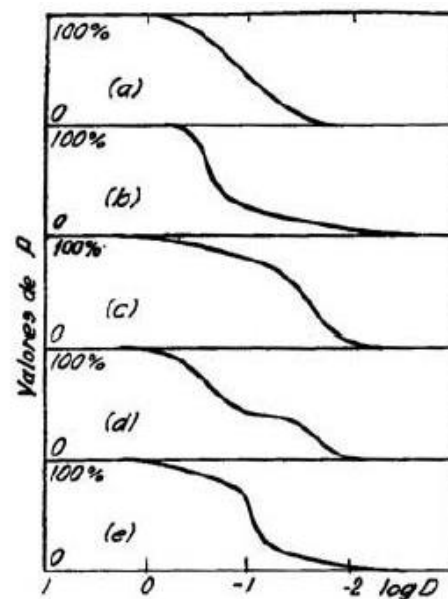


Figura 10. Curvas granulométricas típicas. Adaptado de “Mecánica de suelos en la ingeniería práctica”, por Terzaghi K. y Peck R. B., 1973, p. 20. Copyright 1973 por EL ATENEO.

En la Figura 10 mostrada, Terzaghi y Peck (1973) presentan curvas granulométricas típicas de suelos, con la siguiente denominación de cada una de ellas; (a) Curva de frecuencia normal; (b) y (c) curvas para suelos que tienen fracciones finas y gruesas de distinta uniformidad; (d) y (e) curvas compuestas.

2.2.5.5. Densidad Relativa

Conforme a Das (2015): “El término densidad relativa se utiliza comúnmente para indicar la densidad in situ o soltura de suelo granular. Se define como” (p. 62).

$$D_R = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \quad (20)$$

Donde:

D_R = Densidad Relativa, por lo general expresada en porcentaje.

e = Relación de vacíos natural o in situ del suelo.

$e_{m\acute{a}x}$ = Relación de vacíos máximo del suelo.

$e_{m\acute{i}n}$ = Relación de vacíos mínimo del suelo.

Los valores de D_R pueden variar desde un mínimo de 0 (0%) para el suelo muy suelto, a un máximo de 1 (100%) para el suelo muy denso. Los ingenieros de suelos describen cualitativamente los depósitos de suelos granulares según sus densidades relativas. (Das, 2015, p. 62). Ver Tabla 6.

Tabla 6.
Densidad de un suelo granular

Densidad relativa, D_r (%)	Descripción
0-20	Muy suelto
20-40	Suelto
40-60	Medio
60-80	Denso
80-100	Muy denso

Nota: Adaptado de “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones”, por Das B. M., 2012, p. 11. Copyright 2012 por CENGAGE Learning.

También se puede expresar la densidad relativa en términos de pesos unitarios secos posibles máximos y mínimos. Por lo tanto, (Das, 2015, p. 62).

$$D_R = \frac{\left(\frac{1}{\rho_{\min}}\right) - \left(\frac{1}{\rho_d}\right)}{\left(\frac{1}{\rho_{\min}}\right) - \left(\frac{1}{\rho_{\max}}\right)} = \left(\frac{\rho_d - \rho_{\min}}{\rho_{\max} - \rho_{\min}}\right) \left(\frac{\rho_{\max}}{\rho_d}\right) \quad (21)$$

Donde:

ρ_d = Densidad seca natural o in situ del suelo (en una e).

ρ_{\max} = Densidad seca máxima del suelo (en una e_{\min}).

ρ_{\min} = Densidad seca mínima del suelo (en una e_{\max}).

2.2.6. Resistencia al Esfuerzo Cortante del Suelo

Desde el punto de vista de Leoni (1987) afirma: Cuando sometemos una masa de suelo a un incremento de presiones producida por algún tipo de estructura u obra de ingeniería, se generan en el suelo en cuestión, esfuerzos que tratarán de mantener el equilibrio existente antes de ser aplicada la sollicitación externa. (p. 3).

Cuando la carga exterior aplicada tiene una magnitud tal que supera a la resultante de los esfuerzos interiores de la masa de suelos, se romperá el equilibrio existente y se producirá lo que denominaremos, de aquí en adelante, Plano de Falla o de deslizamiento que no son otra cosa que planos en los cuales una masa de suelo tuvo un movimiento relativo respecto de otra. Es decir que, en estos planos de falla, los esfuerzos internos originados por una sollicitación externa sobrepasaron los límites máximos de los esfuerzos (resistencia al corte) que podría generar el suelo en las condiciones en que se encuentra. (Leoni, 1987, p. 3).

2.2.6.1. Resistencia al Corte y el Modelo de Fricción

Whitlow (1999): Se define a la resistencia al corte, o resistencia al esfuerzo cortante de un suelo como el valor máximo, o límite, de la resistencia al corte que se puede inducir dentro de su masa antes de que ceda. Bajo ciertas condiciones, la flexibilidad conducirá a la formación de una superficie de deslizamiento por corte, sobre la cual puede tener lugar

una cantidad apreciable de movimiento de deslizamiento, por ejemplo, avalanchas, rotación de taludes o fallas en excavaciones (...). En esencia, la resistencia al corte en el seno de una masa sólida se debe al desarrollo de la resistencia a la fricción entre partículas adyacentes, de modo que los análisis se basan principalmente en el modelo de fricción. (p. 230).

La fuerza transmitida por dos cuerpos en contacto estático (Figura 11) puede resolverse en dos componentes: la componente normal N , perpendicular a la superficie de deslizamiento y la componente tangencial T , paralela a la misma. En el momento en el que se inicia el deslizamiento, la relación T/N habrá llegado a un valor límite (máximo), que recibe el nombre de coeficiente de fricción (μ): (Whitlow, 1999, p. 230).

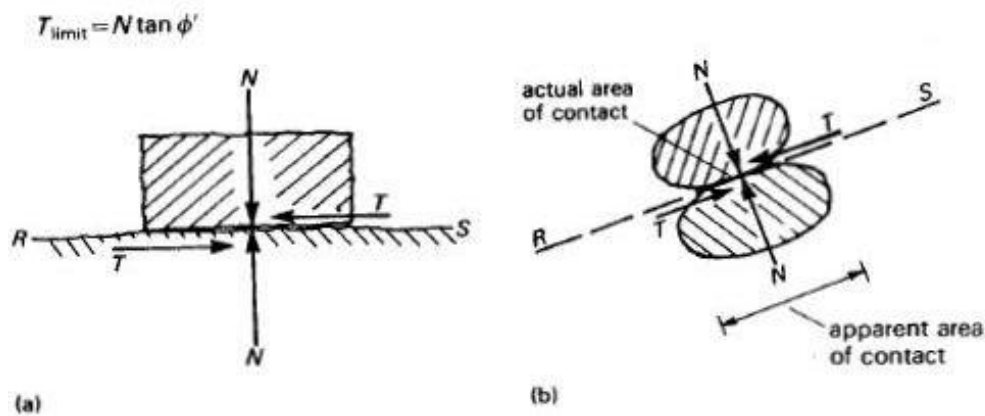


Figura 11. Modelo de fricción. Adaptado de "Basic soil mechanics", por Whitlow R., 1995, p. 213. Copyright 1995 por LONGMAN.

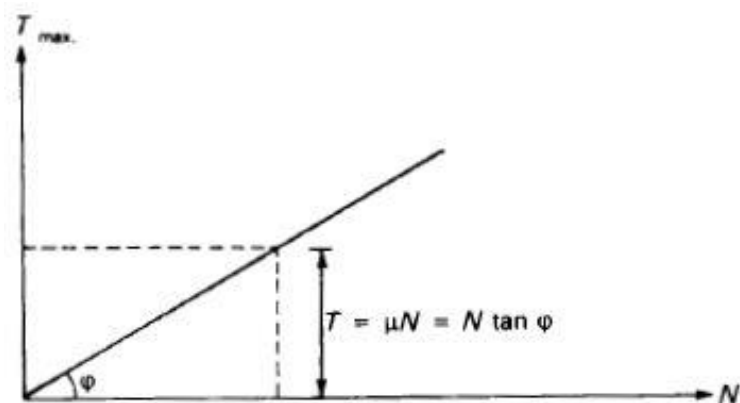


Figura 12. Ángulo de fricción interna. Adaptado de "Basic soil mechanics", por Whitlow R., 1995, p. 213. Copyright 1995 por LONGMAN.

$$T_{\text{límite}} = \mu N \quad (22)$$

“Si se supone que el valor promedio de T/N permanece constante para un material dado, se puede escribir el valor límite de T como sigue:” (Whitlow, 199, p. 232).

$$T_{\text{límite}} = N \tan \varphi' \quad (23)$$

Donde: φ' = Ángulo de fricción interna o simplemente ángulo de fricción, y es el ángulo dado en la gráfica de T/N (Ver Figura 12).

Una de las causas sugeridas (Bowden & Tabor, 1950 y 1964) de la resistencia a la fricción es que en los puntos verdaderos de contacto, las partículas quedan trabadas o entrelazadas entre sí. Para que se presente el deslizamiento es necesario que el material ceda localmente en los puntos de contacto. (Whitlow, 1999, p. 232).

2.2.6.2. Concepto de Fricción

El concepto de fricción es representado por las siguientes figuras en donde veremos que no atraviesa los granos del mineral que conforman la masa de suelos (Figura 13a) sino que el deslizamiento que se produce ocurre entre grano y grano (Figura 13b) lo que equivale a decir que la resistencia que ofrece una masa de suelo frente al deslizamiento de la otra, tiene que ver con las fuerzas friccionales que se desarrollan ente los granos que la componen. (Leoni, 1987, p. 5).

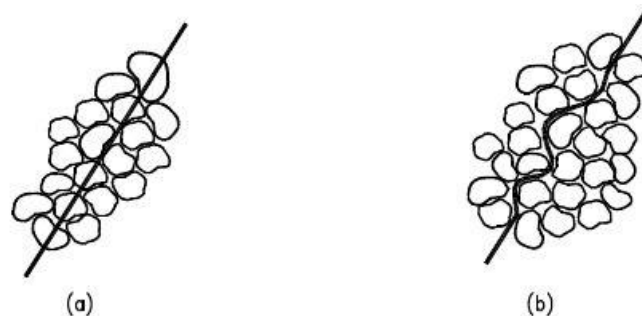


Figura 13. Formación del plano de falla. Adaptado de “Apuntes de resistencia al corte”, por Leoni A. J., 1987, p. 5.

El mismo Leoni (1987) explica: Se entiende también, en este aspecto que cuantos más granos entren en contacto entre sí por unidad de superficie, mayor será el esfuerzo necesario para que ocurra el deslizamiento (interviene acá la compacidad del suelo, o la relación de vacíos del mismo). (p. 5).

“En este mismo sentido, se deduce fácilmente que cuanto más angulosos y trabados se encuentren los granos y cuanto mayor sea el coeficiente friccional del material que lo compone, mayores serán las fuerzas friccionales que desarrollará” (Leoni, 1987, p. 5).

Por otro lado, Suárez (1998) indica que el ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física: (p. 81).

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \tan \varphi' \quad (24)$$

El ángulo de fricción en suelos granulares secos coincide con el ángulo de reposo (Ver Figura 14). Todos los suelos poseen fricción. Sin embargo, a los suelos arcillosos con fricción muy baja o despreciable, se les denomina suelos cohesivos: $\varphi' = 0$. (Suárez, 1998, p. 81).

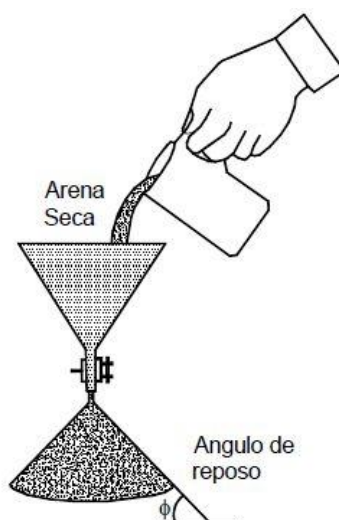


Figura 14. El ángulo de reposo coincide con el ángulo de fricción en una arena seca. Adaptado de “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”, por Suárez J., 1998, p. 83.

El ángulo de fricción (φ') depende de una gran cantidad de factores; algunos de los más importantes según Suárez (1998) son: tipo de mineral constitutivo de las partículas, tamaño de los granos o partículas (a mayor tamaño de partículas, mayor es el φ'), forma de los granos o partículas (φ' es mayor para partículas angulosas), distribución de los tamaños de granos o partículas (en suelos bien graduados el φ' es mayor que en los suelos uniformes), fábrica o microestructura (organización de las partículas), densidad, permeabilidad (facilidad de drenaje), presión normal o de confinamiento, presión de

preconsolidación. Además, el ángulo de fricción es el resultado de la combinación de todos los factores. Por ejemplo, el ángulo de fricción es mayor al aumentar la densidad, pero si las presiones normales son muy altas, este tiende a disminuir. En arcillas, el ángulo de fricción depende de las condiciones de preconsolidación. (Suárez, 1998, p. 82).

Seguidamente se presenta valores de φ' para suelos granulares, las cuales se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7.
Valores de φ' para suelos granulares, según
Terzaghi y Peck, 1967

Tipo de suelo	φ' (Grados)	
	Suelto	Denso
Limo	27 – 30	30 – 34
Arena limosa	27 – 33	30 – 35
Arena uniforme	28	34
Arena bien graduada	33	45
Grava arenosa	35	50

Nota: φ' = Ángulo de fricción. Adaptado de “Mecánica de suelos”, por Berry P. L. y Reid D., 1993, p. 184. Copyright 1993 por McGRAW-HILL.

2.2.6.3. Criterio de Falla de Mohr – Coulomb

De acuerdo a Das (2015) resalta: Morh (1900) presentó una teoría para la ruptura en los materiales. Esta teoría sostiene que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no de cualquier esfuerzo máximo normal o cortante solo. Por lo tanto, la relación funcional entre el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante en un plano de falla se puede expresar en la forma. (p. 228).

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (25)$$

Donde:

τ_f = Esfuerzo cortante en el plano de falla.

σ = Esfuerzo normal en el plano de falla.

La envolvente de falla definida por la Ecuación 25 es una curva. Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente para aproximarse al esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Esta relación puede escribirse como. (Das, 2015, p. 229).

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi' \quad (26)$$

Donde:

c = Cohesión.

φ' = Ángulo de fricción interna.

La Ecuación 26 presentada inicialmente se denomina criterio de falla de Mohr – Coulomb.

“En suelo saturado, el esfuerzo normal total en un punto es la suma del esfuerzo efectivo y la presión del agua intersticial, u ” (Das, 2015, p. 229).

$$\sigma = \sigma' + u \quad (27)$$

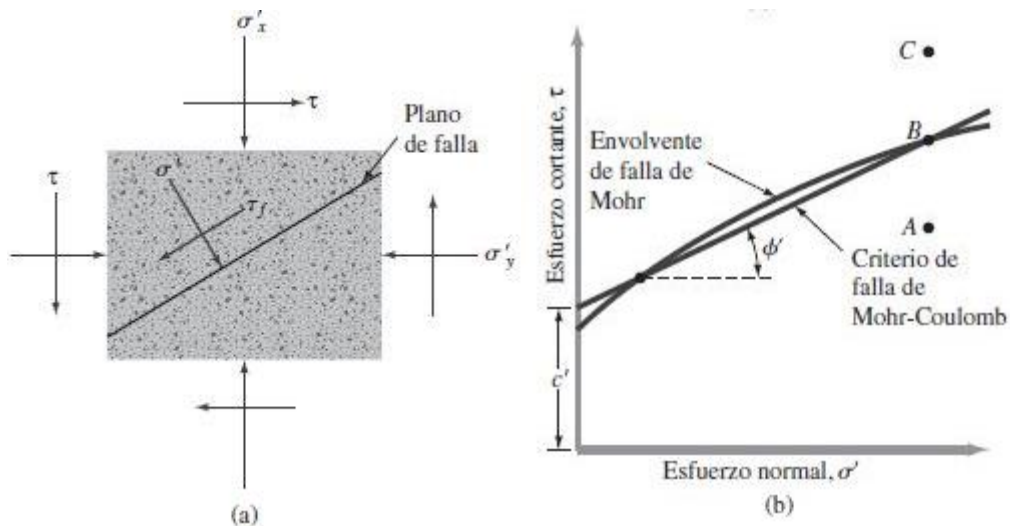


Figura 15. Envolvente de falla de Mohr y criterio de rotura de Mohr – Coulomb. Adaptado de “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, por Das B. M., 2015, p. 230. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.

Das (2015) agrega: La importancia de la envolvente de falla se puede explicar de la siguiente manera: si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano en una masa

de suelo (Figura 15a) son tales que se grafican como el punto A en la Figura 15b, entonces la falla de cizalla o corte se produce a lo largo de ese plano. Si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre el plano se grafican como el punto B (que cae sobre la envolvente de falla), entonces la falla de corte se producirá a lo largo de ese plano. Un estado de esfuerzo sobre un plano representado por el punto C no puede existir porque su gráfica está por encima de la envolvente de falla, y la falla de corte en un terreno se habría producido ya. (p. 229).

2.2.6.4. Prueba de la Densidad Relativa para la determinación del Ángulo de Fricción en Arenas

En los ítems anteriores (2.2.6.1, 2.2.6.2 y 2.2.6.3) se ha visto que la resistencia al esfuerzo cortante del suelo está definida por los parámetros de resistencia al corte (el ángulo de fricción y la cohesión). Sin embargo, para el caso de suelos granulares, las arenas por ejemplo, solo están definidas por el ángulo de fricción, ya que estos tipos de suelos poseen una cohesión nula.

Para la determinación del ángulo de fricción se cuenta con variedad de metodologías tanto en laboratorio como en campo, tales como el ensayo de corte directo, triaxial CD, SPT y el método de la densidad relativa (densidad mínima, máxima y natural). Este último es la metodología más utilizada que se pone en práctica, al ser un método simple para la obtención de la densidad de compactación de un suelo arenoso.

Según Bowles (1981) da a conocer la determinación de la densidad relativa. Cuyo objetivo es la determinación del estado de densidad de un suelo no cohesivo (arenas) con respecto a sus densidades mínimas y máximas. (p. 185).

El ensayo consiste primeramente en tomar una muestra representativa de arena secada al horno que pase por el tamiz #4. Una vez obtenida la muestra, para la determinación de la densidad mínima de acuerdo a la NLT-204/72, se procede a roscar la arena mediante un embudo (Ver Figura 16), de tal manera que esta caiga libremente sobre un molde de volumen conocido (Ver Figura 17), hasta que la arena cubra en su totalidad el volumen del molde, luego se enrasa la muestra sobrante y enseguida se determina el peso de la arena. (p. 1).

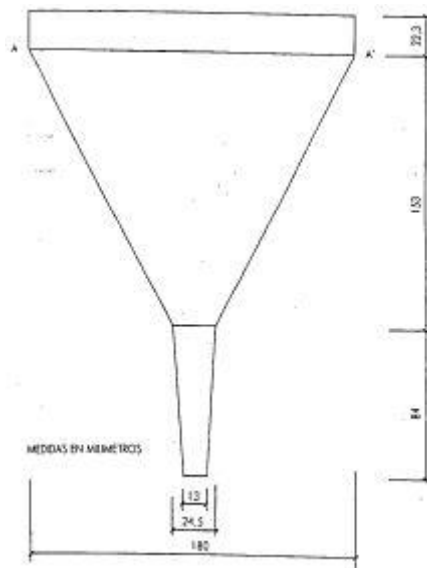


Figura 16. Embudo de plástico blando. Adaptado de “Norma de Ensayo del Laboratorio y Transporte y Mecánica del Suelo”, NLT-204/72, p. 2.

Para el caso de la densidad máxima de acuerdo a la NLT-205/91, se procede introduciendo la arena al molde en 5 capas, aplicando a cada una de las capas 50 golpes, esto realizado mediante un compactador mecánico, seguidamente el proceso de compactación es realizado hasta que la arena cubra en su totalidad el volumen del molde (Ver Figura 17), posteriormente se enrasa la muestra sobrante y se determina el peso de la arena compactada. (p. 2).

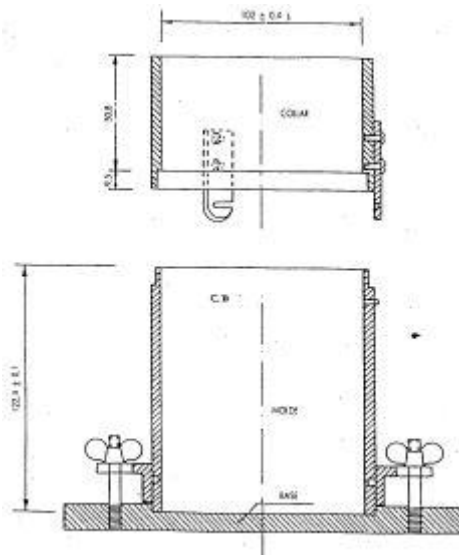


Figura 17. Molde cilíndrico. Adaptado de “Norma de Ensayo del Laboratorio y Transporte y Mecánica del Suelo”, NLT – 205/91, p. 1.

Para la obtención de la densidad mínima y máxima se relaciona los pesos y volúmenes de la arena mediante las Ecuaciones 28 y 29, las mismas que son derivadas de la Ecuación 10, sustentado en el Ítem 2.2.5.2 (NLT-204/72, p. 2 & NLT-205/91, p. 2).

$$\rho_{mín} = \frac{m_s}{V} \quad (28)$$

$$\rho_{máx} = \frac{m_s}{V} \quad (29)$$

Donde:

m_s = Masa de sólidos del suelo de la muestra.

V = Volumen del molde ocupado por la muestra.

$\rho_{máx}$ = Densidad seca máxima del suelo.

$\rho_{mín}$ = Densidad seca mínima del suelo.

Seguidamente se calcula la relación de vacíos mínimo y máximo, a partir de la densidad seca máxima y mínima respectivamente, además de la gravedad específica y la densidad del agua.

Entonces a partir de la Ecuación 15, es posible despejar la relación de vacíos natural, y de esta forma obtener las Ecuaciones 30 y 31, para la determinación de la relación de vacíos mínimo y máximo, correspondientemente.

$$e_{mín} = \frac{G_s \rho_w}{\rho_{máx}} - 1 \quad (30)$$

$$e_{máx} = \frac{G_s \rho_w}{\rho_{mín}} - 1 \quad (31)$$

Donde:

G_s = Gravedad específica de sólidos del suelo.

ρ_w = Densidad del agua.

e_{\min} = Relación de vacíos mínimo del suelo.

e_{\max} = Relación de vacíos máximo del suelo.

Una vez determinado e_{\min} , e_{\max} , además de “e”, se procede a obtener la densidad o compacidad relativa, por medio de la Ecuación 20, presentado en el Ítem 2.2.5.5.

Finalmente, Crespo (2008) sustenta que la relación entre el ángulo de fricción interna de un suelo granular y la compacidad relativa del mismo es expresada por Meyerhof (1956) por medio de las siguientes ecuaciones: (pp. 164-165).

Para suelos granulares con más de 5% de arena fina y limo:

$$\varphi' = 25^\circ + 0.15D_R \quad (32)$$

Para suelos granulares con menos de 5% de arena fina y limo:

$$\varphi' = 30^\circ + 0.15D_R \quad (33)$$

Por consiguiente, se presenta la Tabla 8, donde se muestra la relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción de acuerdo al estado de empaquetamiento de suelos sin cohesión, como es el caso de las arenas.

Tabla 8.

Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción de suelos friccionantes

Estado de empaquetamiento	Densidad relativa (%)	Ángulo de fricción, φ' (grados)
Muy suelto	< 20	< 30
Suelto	20-40	30-35
Compacto	40-60	35-40
Denso	60-80	40-45
Muy denso	> 80	> 45

Nota: Adaptado de “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones”, por Das B. M., 2012, p. 48. Copyright 2012 por CENGAGE Learning.

2.2.6.5. Correlaciones existentes para la estimación del Ángulo de Fricción en Arenas

Actualmente se cuenta con variedad de correlaciones, representadas por ecuaciones matemáticas o de regresión, las mismas que han sido objeto de estudio al relacionar parámetros físicos de los suelos con respecto al ángulo de fricción. A continuación, se presenta en la Tabla 9 correlaciones para la estimación del ángulo de fricción en suelos granulares, aplicados generalmente en arenas.

Tabla 9.

Correlaciones existentes para la estimación del ángulo de fricción en función a las características físicas

Investigador	Ecuación	Limitaciones
Desconocido****	$\varphi' = 21^\circ + \left(\frac{D_R}{20}\right)^{2.12}$	Para suelos granulares
Giraudet (s.f.)***	$\varphi' = \tan^{-1} \left(0.25 + \frac{0.3}{e}\right)$	Para suelos granulares
Burmister (1948)***	$\varphi' = 38^\circ + 0.08D_R$	Gravilla uniforme.
	$\varphi' = 34.5^\circ + 0.10D_R$	Arena gruesa.
	$\varphi' = 31.5^\circ + 0.115D_R$	Arena media.
	$\varphi' = 28^\circ + 0.14D_R$	Arena fina.
Meyerhof (1956)*	$\varphi' = 25^\circ + 0.15D_R$	Arenas con > 5% de suelos finos
	$\varphi' = 30^\circ + 0.15D_R$	Arenas con < 5% de suelos finos
Caquot y Kérisel (1969)***	$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{K}{e}\right)$ $K = f(\text{Forma, rugosidad y uniformidad})$	K= 0.40-0.60= 0.55
Hansen (1970)**	$\varphi' = 26^\circ + 10D_R + 0.4C_U + 1.6\log(D_{50})$	Para suelos granulares
Teferra (1975)**	$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{1}{ae + b}\right)$	Para suelos granulares
	$a = 2.101 + 0.097 \left(\frac{D_{85}}{D_{15}}\right)$	
	$b = 0.845 - 0.398a$	
Costet y Sanglerat (1975)***	$\varphi' = 36^\circ + \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4$ $\varphi_1 = f(\text{Compacidad})$ $\varphi_2 = f(\text{Forma y rugosidad de grano})$ $\varphi_3 = f(\text{Grosor de grano})$ $\varphi_4 = f(\text{Granulometría})$	$\varphi_1 = -6^\circ \text{ a } +6^\circ$ $\varphi_2 = +1^\circ \text{ a } -5^\circ$ $\varphi_3 = 0^\circ \text{ a } +2^\circ$ $\varphi_4 = -3^\circ \text{ a } +3^\circ$
Giuliani y Nicoll (1982)***	$\varphi' = \tan^{-1} \left[0.575 + 0.361 \left(\frac{D_R}{100}\right)^{0.866}\right]$	No válida para arenas limosas saturadas
Chen (Camacho, 2006)***	$\varphi' = \varphi_1 + \varphi_2 * \log(e)$ $\varphi_1 = f(\text{Compacidad})$ $\varphi_2 = 60^\circ$	$\varphi_1 = -6^\circ \text{ a } +6^\circ$ $\varphi_2 = \text{Está en el orden de } 60^\circ$

Nota: φ' = Ángulo de fricción; D_R = Densidad relativa; e = Relación de vacíos natural; C_U = Coeficiente de uniformidad; D_{50} = Tamaño medio de grano; D_{85} y D_{15} = Diámetros 85 y 15, respectivamente. Adaptado de *“Mecánica de suelos y cimentaciones”*, por Crespo C., 2008, pp.

164-165. Copyright 2008 por LIMUSA; ****Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*, por Das B. M., 2012, pp. 48-49. Copyright 2012 por CENGAGE Learning; ****Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción interna (ϕ) y su relación con los parámetros densidad relativa (D_R) y relación de vacíos (e) en suelos granulares*, por Gonzales G. et al., 2014, *Revista Ciencia e Ingeniería*, 35, pp. 137-139; *****Geotecnia I: investigaciones geotécnicas*, por Leoni, s.f., p. 20.

2.2.7. Movimiento del Agua a través del Suelo

Das (2015) da a conocer: Los suelos tienen vacíos interconectados por donde el agua puede fluir desde los puntos de alta energía. El estudio del flujo de agua a través de medios porosos del suelo es importante en la mecánica del suelo. Es necesario para la estimación de la cantidad de filtración subterránea bajo diversas condiciones hidráulicas, para la investigación de los problemas que implica el bombeo de agua para construcción subterránea y para la realización de los análisis de estabilidad de presas y estructuras de retención de tierra que están sujetas a fuerzas de filtración. (p. 117).

2.2.7.1. Ecuación de Bernoulli

A partir de la mecánica de fluidos sabemos que, de acuerdo con la ecuación de Bernoulli, la altura total en un punto en agua en movimiento puede ser dado por la suma de la presión, la velocidad y el desnivel o. (Das, 2015, p. 117).

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad (34)$$

Donde:

h = Carga total.

u = Presión.

v = Velocidad.

g = Aceleración debida a la gravedad.

γ_w = Peso unitario del agua.

Observe que el desnivel, Z , es la distancia vertical de un punto dado por encima o por debajo de un plano de referencia. La carga de presión es la presión del agua ' u ' en ese punto, dividida entre el peso unitario del agua γ_w . (Das, 2015, p. 118).

El mismo Das (2015) menciona también: Si la ecuación de Bernoulli se aplica al flujo de agua a través de un medio de suelo poroso, el término que contiene la velocidad de carga puede despreciarse debido a que la velocidad de filtración es pequeña. A continuación, la altura en cualquier punto se puede representar adecuadamente por. (p. 118).

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + Z \quad (35)$$

La Figura 18 muestra la relación entre la presión, la elevación y las cargas totales para el flujo de agua a través del suelo. Tubos abiertos llamados piezómetros se instalan en los puntos A y B. Los niveles a los que el agua se eleva en estos tubos situados en los puntos A y B se conocen como niveles piezométricos de los puntos A y B, respectivamente. La presión de carga en un punto es la altura de la columna vertical de agua en el piezómetro instalado en ese punto. (Das, 2015, p. 118).

La pérdida de carga entre dos puntos, A y B, se puede dar por:

$$\Delta h = h_A - h_B = \left(\frac{u_A}{\gamma_w} + Z_A \right) - \left(\frac{u_B}{\gamma_w} + Z_B \right) \quad (36)$$

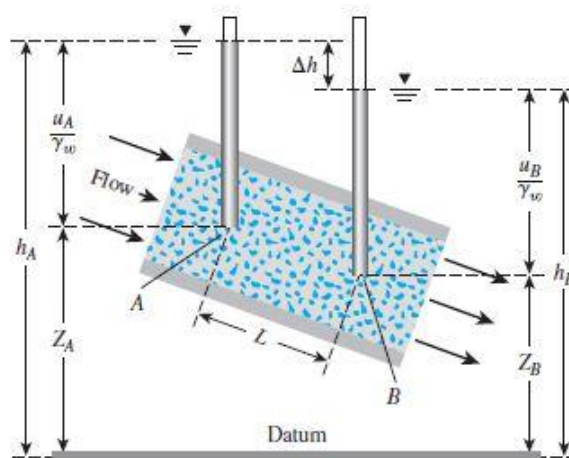


Figura 18. Presión, elevación y cargas totales para el flujo del agua a través de un suelo. Adaptado de "Principles of geotechnical engineering", por Das B. M. & Sobhan K., 2014, p. 199. Copyright 2014 por CENGAGE Learning.

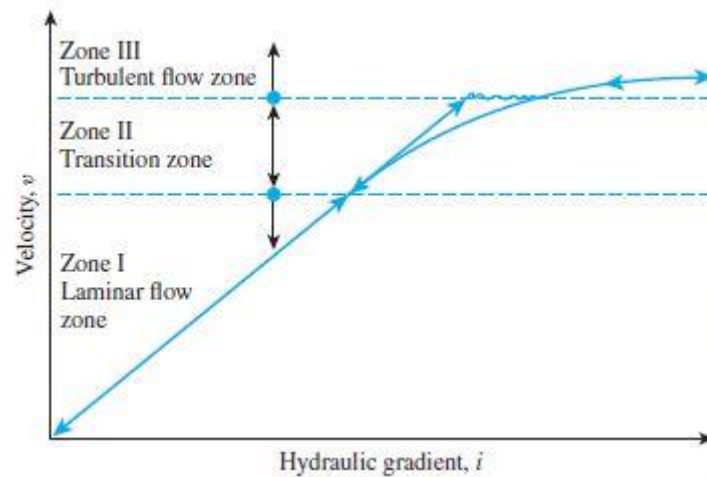


Figura 19. Naturaleza de la variación de v con el gradiente hidráulico, i . Adaptado de “Principles of geotechnical engineering”, por Das B. M. & Sobhan K., 2014, p. 200. Copyright 2014 por CENGAGE Learning.

La pérdida de carga, Δh , puede expresarse en forma adimensional como. (Das, 2015, p. 119).

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (37)$$

Donde:

i = Gradiente hidráulico.

L = Distancia entre los puntos A y B, es decir, la longitud de flujo sobre el que ocurre la pérdida de carga.

En general, la variación de la velocidad, v , con el gradiente hidráulico, i , es como se muestra en la Figura 19. Esta gráfica se divide en tres zonas: zona de flujo laminar (Zona I), zona de transición (Zona II) y zona de flujo turbulento (Zona III). (Das, 2015, p. 119).

Das (2015) agrega: Cuando el gradiente hidráulico se incrementa gradualmente, el flujo sigue siendo laminar en las Zonas I y II, y la velocidad, v , tiene una relación lineal con el gradiente. En un gradiente hidráulico superior, el flujo se vuelve turbulento (Zona III). Cuando el gradiente hidráulico disminuye, existen condiciones de flujo laminar solo en la Zona I. (p. 119).

En la mayoría de los suelos, el flujo de agua a través de los espacios vacíos se puede considerar laminar, por lo que, (Das, 2015, p. 19).

$$v \propto i \quad (38)$$

“En roca fracturada, gravas y arenas muy gruesas, pueden existir condiciones de flujo turbulento y la Ecuación 38, puede no ser válida” (Das, 2015, p. 119).

2.2.7.2. Ley de Darcy

Según Das (2015) sustenta: En 1856, Henri Philibert Gaspard Darcy publicó una ecuación empírica simple para la velocidad de descarga del agua a través de los suelos saturados. Esta ecuación se basa principalmente en las observaciones que Darcy hace sobre el flujo de agua a través de arenas limpias y se da como. (p. 120).

$$v = ki \quad (39)$$

Donde:

v = Velocidad de descarga, que es la cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo a través de un área de sección transversal unitaria bruta de suelo en ángulo recto con la dirección del flujo.

k = Conductividad hidráulica (también conocida como coeficiente de permeabilidad).

La conductividad hidráulica se expresa en cm/s o m/s, y la descarga es en m³/s. Debe señalarse que, en unidades del SI, la longitud se expresa en mm o m, por lo que, en ese sentido, la conductividad hidráulica debe ser expresada en mm/s en lugar de cm/s. Sin embargo, los ingenieros geotécnicos siguen utilizando cm/s como la unidad para la conductividad hidráulica. (Das, 2015, p. 120).

Observe que las Ecuaciones 38 y 39 presentadas anteriormente son similares; ambas son válidas para las condiciones de flujo laminar y aplicables para una amplia gama de suelos. En la Ecuación 38, v es la velocidad de descarga de agua con base en el área de la sección transversal bruta de suelo. Sin embargo, la velocidad real de agua (es decir, la velocidad de filtración) a través de los espacios vacíos es mayor que v . Se puede deducir

una relación entre la velocidad de descarga y la velocidad de filtración haciendo referencia a la Figura 18, que muestra un suelo de longitud L con una sección transversal de área bruta A. Si la cantidad de agua que fluye a través del suelo por unidad de tiempo es q, entonces. (Das, 2015, p. 120).

$$q = vA = A_v v_s \quad (40)$$

Donde:

v_s = Velocidad de filtración.

A_v = Área de vacíos en la sección transversal de la muestra.

Sin embargo;

$$A = A_v + A_s \quad (41)$$

Donde; A_s = Área de sólidos del suelo en la sección transversal de la muestra.
Combinando las Ecuaciones 40 y 41 se obtiene:

$$q = v(A_v + A_s) = A_v v_s \quad (42)$$

$$v_s = \frac{v(A_v + A_s)}{A_v} = \frac{v(A_v + A_s)L}{A_v L} = \frac{v(V_v + V_s)}{V_v} \quad (43)$$

Donde:

V_v = Volumen de vacíos en la muestra.

V_s = Volumen de sólidos del suelo en la muestra.

La Ecuación 43 puede ser reescrita como:

$$v_s = \left[\frac{1 + \left(\frac{V_v}{V_s} \right)}{\frac{V_v}{V_s}} \right] = v \left(\frac{1 + e}{e} \right) = \frac{v}{n} \quad (44)$$

Donde:

e = Relación de vacíos.

n = Porosidad.

Das (2015) agrega: “Tenga en cuenta que los términos de la velocidad real y la velocidad de filtración se definen en un sentido normal. Las velocidades reales y la filtración variarían con la ubicación dentro del volumen de poros del suelo” (p. 121).

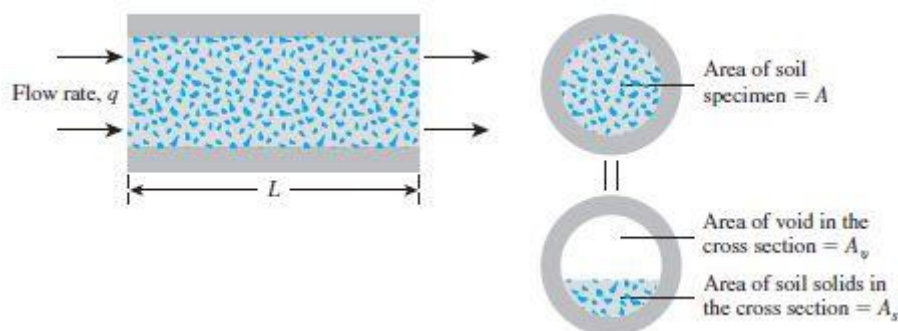


Figura 20. Deducción de la Ecuación 40. Adaptado de “*Principles of geotechnical engineering*”, por Das B. M. & Sobhan K., 2014, p. 201. Copyright 2014 por CENGAGE Learning.

2.2.7.3. Coeficiente de Permeabilidad

Whitlow (1999) deduce: La capacidad de un suelo para permitirle que lo atraviese el agua recibe el nombre de permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad (k) puede definirse como la velocidad de flujo producida por un gradiente hidráulico unitario. El valor de k se usa como una medida de resistencia al flujo ofrecida por el suelo; y son varios factores que intervienen. (p. 102). Das (2015) menciona las más importantes, como: “la viscosidad del fluido, la distribución de tamaño de poro, distribución de tamaño de grano, la relación de vacíos, la rugosidad de las partículas minerales y el grado de saturación del suelo” (p. 121).

El valor del coeficiente de permeabilidad varía entre los diferentes suelos. Algunos valores típicos para suelos saturados se dan en la Tabla 10. El coeficiente de permeabilidad de los suelos no saturados es menor y aumenta rápidamente con el grado de saturación. (Das, 2015, p. 121).

Tabla 10.

Valores típicos de coeficiente de permeabilidad para suelos saturados

Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava limpia	100-1
Arena gruesa	1.0-0.01
Arena fina	0.01-0.001
Arcilla limosa	0.001-0.00001
Arcilla	< 0.000001

Nota: Adaptado de "Fundamentos de ingeniería geotécnica", por Das B. M., 2015, p. 122. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.

El coeficiente de permeabilidad de un suelo también está relacionado con las propiedades del fluido que fluye a través de él por la siguiente ecuación: (Das, 2015, p. 121).

$$v_s = \frac{\gamma_w}{\eta} \bar{K} \quad (45)$$

Donde:

γ_w = Peso unitario del agua.

η = Coeficiente de viscosidad del fluido.

\bar{K} = Permeabilidad absoluta.

Das (2015) explica que la permeabilidad absoluta, \bar{K} , se expresa en unidades de longitud al cuadrado (es decir, cm^2). La Ecuación 45 mostró que el coeficiente de permeabilidad es una función del peso unitario y la viscosidad del agua, que es a su vez una función de la temperatura a la que se lleva a cabo la prueba. Por lo tanto, de la Ecuación 45, se tiene que: (p. 122).

$$\frac{k_{T_1}}{k_{T_2}} = \left(\frac{\eta_{T_2}}{\eta_{T_1}} \right) \left(\frac{\gamma_{u(T_1)}}{\gamma_{u(T_2)}} \right) \quad (46)$$

Donde:

K_{T_1}, K_{T_2} = Coeficiente de permeabilidad a temperatura T_1 y T_2 , respectivamente.

η_{T_1}, η_{T_2} = Viscosidad del fluido a temperatura T_1 y T_2 , respectivamente.

$\gamma_{u(T_1)}, \gamma_{u(T_2)}$ = Unidad de peso de agua a temperatura T_1 y T_2 , respectivamente.

Esto es una convención para expresar el valor de k a una temperatura de 20°C. Dentro de la gama de temperaturas de prueba, podemos suponer que $\gamma_{u(T_1)} = \gamma_{u(T_2)}$. Por lo tanto, de la Ecuación 46 se puede expresar: (Das, 2015, p. 122).

$$k_{20^\circ\text{C}} = \left(\frac{\eta_{T^\circ\text{C}}}{\eta_{20^\circ\text{C}}} \right) k_{T^\circ\text{C}} \quad (47)$$

La variación de $\eta_{T^\circ\text{C}}/\eta_{20^\circ\text{C}}$ con la temperatura de prueba T que varía de 15 a 30°C se da en la Tabla 11.

Tabla 11.
Variación de $\eta_{T^\circ\text{C}}/\eta_{20^\circ\text{C}}$

Temperatura, T (°C)	$\eta_{T^\circ\text{C}}/\eta_{20^\circ\text{C}}$	Temperatura, T (°C)	$\eta_{T^\circ\text{C}}/\eta_{20^\circ\text{C}}$
15	1.135	23	0.931
16	1.106	24	0.910
17	1.077	25	0.889
18	1.051	26	0.869
19	1.025	27	0.850
20	1.000	28	0.832
21	0.976	29	0.814
22	0.953	30	0.797

Nota: Adaptado de "Fundamentos de ingeniería geotécnica", por Das B. M., 2015, p. 122. Copyright 2015 por CENGAGE Learning.

2.2.7.4. Prueba de Permeabilidad de Carga Constante para la determinación de Coeficiente de Permeabilidad en Arenas

Juárez y Rico (2011) aclara que para la determinación del coeficiente de permeabilidad hay varios procedimientos: unos "directos", así llamados porque se basan en pruebas cuyo objetivo fundamental es la medición de tal coeficiente; otros "indirectos", proporcionados, en forma secundaria, por pruebas y técnicas que primariamente persiguen otros fines. (p. 197).

Los ensayos directos que a menudo se ponen en práctica son: permeabilidad de carga constante y permeabilidad en campo mediante bombeo de pozos. Siendo el primero de estos un método más fácil de desarrollar a comparación a las determinaciones in situ.

En la Figura 21 se muestra una disposición típica de la prueba de permeabilidad de carga constante. En este tipo de configuración de laboratorio, el suministro de agua a la entrada se ajusta de tal manera que la diferencia de la carga entre la entrada y la salida se mantiene constante durante el periodo de prueba. Después que se estableció una velocidad de flujo constante, el agua se colecta en un matraz graduado para una duración conocida. (Das, 2015, p. 123).

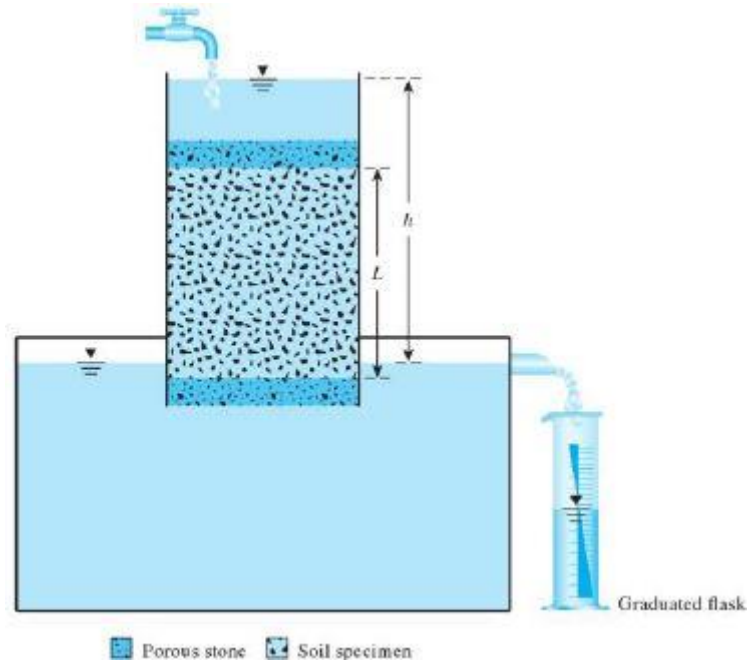


Figura 21. Prueba de permeabilidad de carga constante. Adaptado de "Introduction to geotechnical engineering", por Das B. M. & Sivakugan N., 2016 p. 90. Copyright 2016 por CENGAGE Learning.

El volumen total de agua recolectada, Q, se puede expresar como:

$$Q = Avt = A(ki)t \quad (48)$$

Donde:

A = Área de la sección transversal de la muestra de suelo.

t = Duración de la recolección de agua.

También, como:

$$i = \frac{h}{L} \quad (49)$$

Donde L = Longitud de la muestra, la Ecuación 49 puede ser sustituida en la Ecuación 48, para obtener:

$$Q = A \left(k \frac{h}{L} \right) t \quad (50)$$

Y de esta manera obtener la Ecuación 51, para la determinación del coeficiente de permeabilidad en laboratorio.

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (51)$$

2.2.7.5. Correlaciones existentes para la estimación del Coeficiente de Permeabilidad en Arenas

Desde hace tiempo se ha tratado de establecer correlaciones entre la granulometría de un material y su permeabilidad. Es obvio que existen razones para creer que pudiera establecerse tal correlación; en suelos arenosos gruesos, los poros entre las partículas minerales son relativamente grandes y por ello la permeabilidad resulta comparativamente alta; en suelos de menores tamaños, los poros y canalículos entre los granos son más pequeños, por lo cual estos materiales son de menor permeabilidad. (Juárez & Rico, 2011, pp. 197,199). En breve se presenta ecuaciones matemáticas en la Tabla 12 para la estimación del coeficiente de permeabilidad en suelos granulares, pero la mayoría de ellos aplicados en arenas.

Tabla 12.

Correlaciones existentes para la estimación del coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas

Investigador / Organización	Ecuación	Limitaciones
Casagrande (s.f.)*	$k = 1.4e^2 k_{0.85}$	$K_{0.85}$ = Valor correspondiente a una $e= 0.85$
Hazen (1892)**	$k = C_H D_{10}^2$	$D_{10}= 0.1\text{-}30\text{mm}$
Slichter (1898)**	$k = \frac{g}{\nu} * n^{3.287} * D_{10}^2$	$D_{10}= 0.01\text{-}5\text{mm}$
Kozeny – Carman (1956)**	$k = 0.083 * \frac{g}{\nu} * \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] * D_{10}^2$	$D_{10} < 3\text{mm}$; Para suelos granulares, el termino inercia no se tiene en cuenta
Amer y Awad (1974)***	$k = 35 \left(\frac{e^3}{1+e} \right) C_U^{0.6} (D_{10})^{2.32}$	$\rho_w = 1\text{g/cm}^3$ y $\eta = 0.1 * 10^{-4} \text{g*s/cm}^2$
Kenney et al. (1984)**	$k = (0.05 - 1) D_5^2$	$D = 0.074\text{-}25.4\text{mm}$ y $C_U = 1.04\text{-}12$
NAVFAC (Chapuis et al., 1989)**	$k = 10^{1.291e - 0.6435 D_{10}^{10^{0.5504 - 0.2937e}}}$	$e = 0.3\text{-}0.7$; $D_{10} = 0.10\text{-}2.0\text{mm}$; $C_U = 2\text{-}12$; y $D_{10}/D_5 > 1.4$
USBR (Vukovic y Soro, 1992)**	$k = 0.048 * \frac{g}{\nu} * D_{20}^{0.3} * D_{10}^2$	$C_U < 5$
Alyamani y Sen (1993)**	$k = 1.5046 * [I_0 + 0.025 * (D_{50} - D_{10})]^2$	Para muestras bien graduadas
Breyer (Kresic, 1998)**	$k = 6 * 10^{-2} * \frac{g}{\nu} * \log \left(\frac{500}{C_U} \right) * D_{10}^2$	$C_U = 1\text{-}20$, $D_{10} = 0.06\text{-}6\text{mm}$
Chapuis (2004)***	$k = 2.4622 \left[D_{10}^2 \frac{e^3}{(1+e)} \right]^{0.7825}$	Para arenas y gravas naturales y uniformes; $k = 10^{-1}$ a 10^{-3}cm/s
Terzaghi (Odong, 2007)**	$k = 0.0084 * \frac{g}{\nu} * \left[\frac{n - 0.13}{(1-n)^{\frac{1}{3}}} \right]^2 * D_{10}^2$	0.0084 = Coeficiente de clasificación que varía entre 0.0061 y 0.00107

Nota: k = Coeficiente de permeabilidad; e = Relación de vacíos natural; n = Porosidad; C_U = Coeficiente de uniformidad; D_{10} = Diámetro efectivo; D_5 y D_{20} = Diámetros 5 y 20, respectivamente. g = Aceleración de la gravedad; ν , η = Viscosidad cinemática del fluido; ρ_w = Densidad del agua; Adaptado de **"Mecánica de suelos en la ingeniería práctica"*, por Terzaghi K. y Peck R. B., 1973, p. 49. Copyright 1973 por EL ATENEO; ***"Estimation of the permeability of granular soils using neuro-fuzzy system"*, por Sezer A., Göktepe A. B. & Altun S., 2009, p. 335; ****"Fundamentos de ingeniería de cimentaciones"*, por Das B. M., 2012, pp. 26-27. Copyright 2012 por CENGAGE Learning.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología de Investigación

Jiménez (1998) conceptualiza que: La metodología de la investigación científica constituye por su parte un conjunto de métodos, categorías, leyes y procedimientos que orientan los esfuerzos de la investigación hacia la solución de los problemas científicos con un máximo de eficiencia. Se trata pues, de las formas de aplicación consciente del método científico en la solución de problemas del conocimiento. (pp. 18-19).

A continuación, se presenta las diferentes clasificaciones de investigación adoptada para la presente tesis (Ver Ítems 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3).

3.1.1. Enfoque de Investigación

El enfoque de investigación es: CUANTITATIVO.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) mencionan: “El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (p. 4).

“Son las investigaciones de tesis cuyo planteamiento obedece a un enfoque objetivo de una realidad externa que se pretende describir, explicar y predecir en cuanto a la causalidad de sus hechos y fenómenos”. (Muñoz, 2011, p. 21).

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es: EXPLICATIVO – CORRELACIONAL.

Según Hernández et al. (2014): Las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y, de hecho, implican los propósitos de estos (exploración, descripción y correlación o asociación); además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia. (p. 96).

Este tipo de estudios (correlacionales) tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones solo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables. (Hernández et al., 2014, p. 93).

3.1.3. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es: EXPERIMENTAL, donde se busca obtener valores a partir de pruebas y observaciones. Muñoz (2011) indica: Son los trabajos de tesis basados en un riguroso marco experimental de pruebas controladas, que el propio investigador manipula libremente para introducir o modificar determinadas variables de estudio y observar los resultados. A estos experimentos también se les denomina pruebas de laboratorio, pruebas controladas o experimentaciones. (p. 25).

3.2. Formulación de las Hipótesis

3.2.1. Hipótesis General

Es factible proponer una metodología simple, accesible y confiable para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado.

3.2.2. Hipótesis Específicas

Es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del ángulo de fricción en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional.

Es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional.

Los valores obtenidos mediante la metodología planteada proporcionan resultados confiables al ser verificados con los valores obtenidos mediante el ensayo de la densidad

relativa para el ángulo de fricción y el ensayo de permeabilidad de carga constante para el coeficiente de permeabilidad.

3.3. Identificación de Variables

“Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominamos variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control”. (Hernández et al., 2014, p. 129).

Además de acuerdo a Muñoz (2011) declara: “Las variables intervinientes son aquellas características o propiedades que afectan el resultado que se espera y están relacionadas tanto con las variables independientes como con las dependientes, de tal forma que pueden reemplazar a la variable independiente” (p. 150).

Enseguida en los Ítems 3.3.1, 3.3.2 y 3.3.3, se exhiben las variables de estudio identificadas por el tesista, para el desarrollo de la investigación.

3.3.1. Variables Independientes (X)

- Coeficiente de Uniformidad (C_U), representado como: X_1 .
- Diámetro Efectivo (D_{10}), representado como: X_2 .
- Gravedad Específica (G_s), representada como: X_3 .
- Relación de Vacíos Natural (e), representada como: X_4 .

3.3.2. Variables Dependientes (Y)

- Ángulo de Fricción (φ'), representado como: Y_1 .
- Coeficiente de Permeabilidad (k), representado como: Y_2 .

3.3.3. Variables Intervinientes (Z)

- Textura de Curva Granulométrica (T_{CG}), representada como: Z_1 .

3.3.4. Operacionalización de Variables

Conforme a lo que se ha planteado anteriormente, se cuenta con variables independientes, dependientes e intervinientes. Y en lo que respecta a su operacionalización, el diseño que se tuvo en consideración es expresada por la siguiente ecuación:

$$Y = f(X, Z) \quad (52)$$

Donde:

X = Variable Independiente.

Y = Variable Dependiente.

Z = Variable Interviniente.

Como se recuerda, el nivel de investigación adoptada es: EXPLICATIVO – CORRELACIONAL, el cual explica el comportamiento de una variable en función de otra u otras, asimismo es un estudio de causa – efecto.

En ese sentido al hablar de hipótesis, a las supuestas causas se le conoce como variables independientes y a los efectos como variables dependientes. “Las hipótesis causales multivariadas, plantean una relación entre diversas variables independientes y una dependiente, una independiente y varias dependientes o diversas independientes y varias dependientes” (Hernández et al., 2014, p. 111).

Entonces en relación a lo mencionado anteriormente, el presente estudio presenta hipótesis causales multivariadas, de diversas independientes (coeficiente de uniformidad, diámetro efectivo, gravedad específica y relación de vacíos) y varias dependientes (ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad).

En la Figura 22, se puede apreciar el esquema de relación causal multivariada con dos variables dependientes, tal es el presente caso.

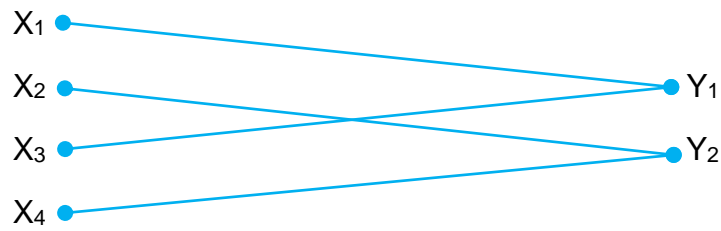


Figura 22. Esquema de relación causal multivariada con dos variables dependientes, adaptada para la presente tesis. (Elaboración propia).

Hernández et al. (2014) destacan: “Las hipótesis multivariadas pueden plantear otro tipo de relaciones causales, en las que ciertas variables intervienen y modifican la relación (hipótesis con presencia de variables intervinientes)” (p. 112).

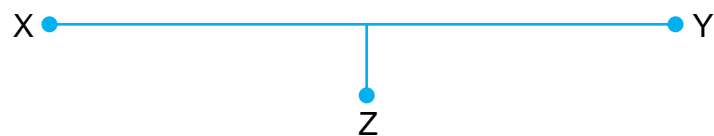


Figura 23. Esquema de relación causal con variable interviniente. Adaptado de “Metodología de la investigación”, por Hernández R. et al., 2014, p. 113. Copyright 2014 por McGRAW-HILL.

Según la Figura 23, la variable interviniente (textura de curva granulométrica) está presente en el objeto de estudio, por lo que una variación en sus valores podría afectar en los resultados obtenidos.

Una vez identificado y relacionado las variables independientes y la interviniente con las dependientes, se procede realizar un esquema de relación causal multivariada con dos variables dependientes y una interviniente, tal se muestra a continuación la Figura 24.

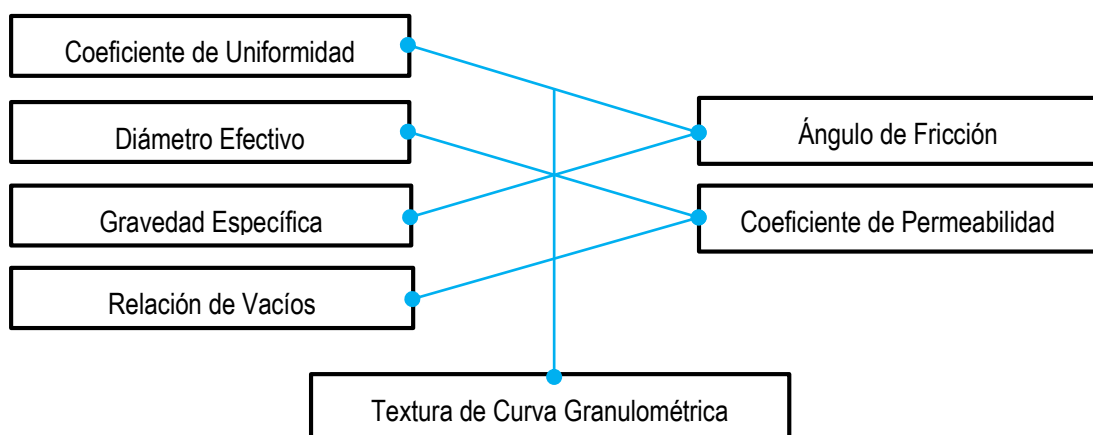


Figura 24. Esquema de relación causal multivariada con dos variables dependientes y una interviniente, adaptada para la presente tesis. (Elaboración propia).

Por consiguiente, reemplazando las variables independientes, dependientes y la interviniente en la ecuación de operacionalización entre variables (Ver Ecuación 52), se obtiene las siguientes Ecuaciones 53 y 54:

$$\varphi' = f(C_U, G_S, T_{CG}) \quad (53)$$

$$k = f(D_{10}, e, T_{CG}) \quad (54)$$

Cabe resaltar que los parámetros de diseño; el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad (φ' y k) están en función a las características físicas de las arenas (C_U , D_{10} , G_S , e y T_{CG}). Por lo tanto, el ángulo de fricción puede ser determinado a partir del coeficiente de uniformidad, que a su vez está influenciado por la gravedad específica y textura de curva granulométrica. De igual forma el coeficiente de permeabilidad puede ser determinado a partir del diámetro efectivo, que a su vez está influenciado por la relación de vacíos y textura de curva granulométrica.

Hernández et al. (2014) señalan: “Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas” (p. 105).

3.4. Recursos necesarios para la Recolección de Datos

A continuación, se da a conocer el listado de los recursos tomados en cuenta para la recolección de datos.

- Bibliografía (libros físicos y digitales).
- Datos obtenidos directamente de laboratorio.
- Trabajos de investigación (tesis, artículos, monografías, etc.).
- Expedientes técnicos e informes de estudios geotécnicos.
- Eventos académicos (congresos, jornadas, seminarios, coloquios, etc.).
- Información de internet en general.
- Fotografías, vídeos, audios, etc.

Para el desarrollo de la presente tesis se sigue la línea de investigación mostrada en la Figura 25, dada enseguida.

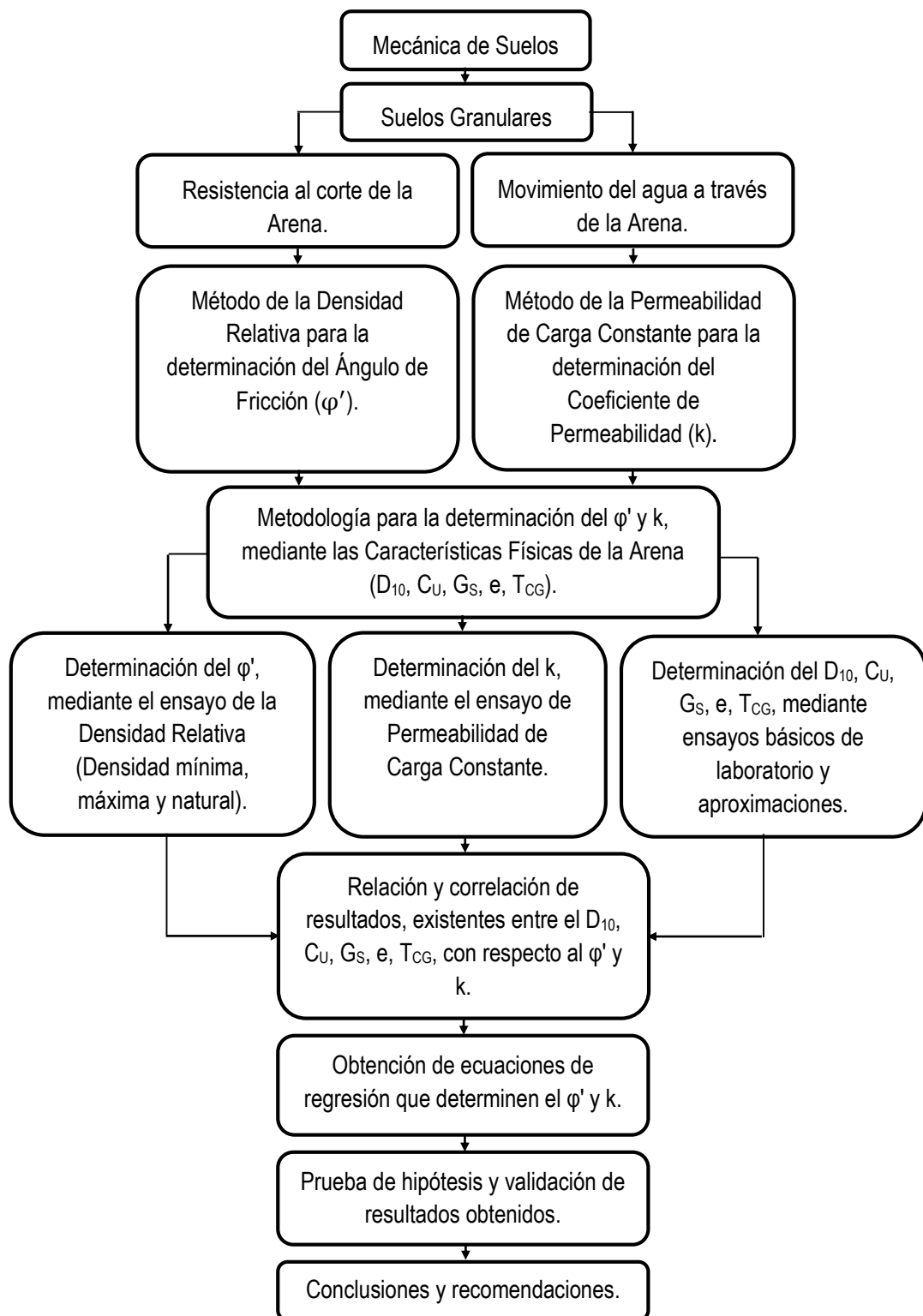


Figura 25. Línea de investigación seguida para el desarrollo de la presente tesis. (Elaboración propia).

3.5. Lugar de Ejecución

Para poder llevarse a cabo la presente investigación, es importante hacer mención al lugar de ejecución, específicamente en lo que respecta a la ejecución de los distintos ensayos de mecánica de suelos, tales como: El ensayo de análisis granulométrico inverso (ensayo adaptado por el tesista), el ensayo de gravedad específica, el ensayo de la densidad mínima y máxima, y el ensayo de permeabilidad de carga constante, los propios que fueron desarrollados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, perteneciente a la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

Se hace oportuno señalar que los ensayos han sido ejecutados desde el mes de marzo hasta el mes de diciembre del año 2015, y los meses de agosto y octubre del año 2017, haciendo un total de 1 año de trabajo efectivo, durante el tiempo de permanencia como Laboratorista.

3.6. Población y Muestra

“Toda investigación debe ser transparente, así como estar sujeta a crítica y réplica, y este ejercicio solamente es posible si el investigador delimita con claridad la población estudiada y hace explícito el proceso de selección de su muestra” (Hernández et al., 2014, p. 170).

La Figura 26, exhibe la representación de una muestra como subgrupo, respecto a una población o universo de estudio.

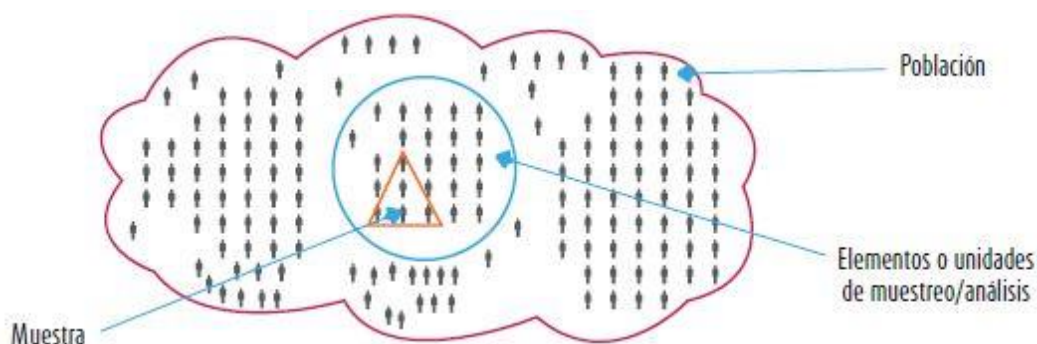


Figura 26. Representación de una muestra como subgrupo. Adaptado de “Metodología de la investigación”, por Hernández R. et al., 2014, p. 175. Copyright 2014 por McGRAW-HILL.

3.6.1. Población

El estadístico puneño Ilasaca (2012) afirma: Estadísticamente hablando, se entiende por población al mayor conjunto de individuos, objetos o entidades que tienen una característica común, cuyo estudio nos interesa, definidos en un espacio y tiempo específicos, donde cada uno de los elementos de este conjunto se denominan unidades de análisis. (p. 18). Es posible apreciar gráficamente lo dicho por la Figura 26, exhibida precedentemente.

En la presente tesis, la población está constituida por suelos arenosos limpios, cuya característica común que los distingue, es que pasan el tamiz #200 menos del 5% de finos, clasificándolas de esta manera como arenas limpias, que a la vez tienen que cumplir que: $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$, para ser clasificada como arena bien graduada – SW, o $C_u < 6$ y $1 > C_c > 3$, para ser clasificada como arena mal graduada – SP, de acuerdo a lo establecido por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Seguidamente antes de definir a la población, se sabe que las arenas limpias (bien y mal graduadas), pueden presentarse con diferentes gradaciones, es decir con distintas granulometrías. Tal como lo plantean Bañón y Beviá (2010); para suelos bien graduados lo dividen en granulometría continua y granulometría no uniforme, y para suelos mal graduados, en granulometría discontinua y granulometría uniforme. (Ver Figura 8).

Las granulometrías mencionadas en el anterior párrafo, a su vez pueden ser distinguidas por la textura de curva granulométrica. Crespo (2008) hace referencia a especificaciones donde la clasifican por su textura, ya sean de textura abierta, textura media y textura cerrada (Ver Figura 9), las mismas que presentan granulometría no uniforme, granulometría continua y granulometría uniforme, respectivamente.

Asimismo, en la Figura 9 se observa que las especificaciones citadas por Crespo (2008) no toman en cuenta una textura para una granulometría discontinua, por lo tanto, no se pasará por desapercibido tal granulometría para ser considerada en la población, ya que pueden presentarse ese tipo de granulometrías. Así pues, se denominará a la textura con el mismo nombre de la granulometría; es decir, textura discontinua.

Entonces, se hace conveniente representar a la población por medio de curvas granulométricas que presenten diversas texturas en arenas limpias, debido a lo cual queda definida su delimitación.

Matemáticamente hablando, la población es el conjunto universal y la muestra es un subconjunto propio del universo (Ver Figura 26). La población es clasificada de acuerdo al número de elementos que lo forman. La población finita, es aquella que tiene un número limitado de elementos y la población infinita, aquella que tiene un número infinito o no contable de elementos. (Ilasaca, 2012, p. 18).

Si bien es cierto, en la corteza terrestre existe una variedad incontable de curvas granulométricas de arenas limpias, dando a entender que la población viene a ser infinita (marco muestral desconocido), dado que es prácticamente imposible contar con un valor exacto del número de elementos o unidades de análisis (curvas granulométricas de textura abierta, media, cerrada y discontinua de arenas limpias).

3.6.2. Muestra

En cuanto se refiere a la muestra, Borja (2012) sustenta: Para una investigación cuantitativa, la muestra de estudio es un subgrupo representativo de la población, sobre la cual se habrán de recolectar datos. El investigador se deberá interesar que los resultados encontrados en la muestra logren generalizarse o extrapolarse a la población o universo. La muestra debe ser estadísticamente representativa. (p. 31).

Según lo sustentado por Borja (2012), la muestra viene a ser aquel subgrupo de la población, dando a entender que el tamaño de la población es superior respecto al de la muestra, además de que esta tiene que ser representativa, con el objetivo de que los resultados obtenidos puedan ser aplicados al total de la población.

En ese sentido, se tiene conocimiento que la población está definida por medio de curvas granulométricas de textura abierta, media, cerrada y discontinua de arenas limpias. Sin embargo, Terzaghi y Peck (1973) presentan la Figura 10, donde muestran las curvas granulométricas típicas de los suelos, como las curvas de frecuencia normal, curvas para suelos que tienen fracciones finas y gruesas de distinta uniformidad, y curvas compuestas. Y de todas ellas, no se cuenta con una curva similar a la de una de textura discontinua, por lo que se consideraría como curvas granulométricas atípicas, descartándolas de esta forma

para su estudio. Teniendo en cuenta que los resultados a obtener puedan generalizarse a estas curvas de textura discontinua.

En síntesis, la muestra de estudio viene dada por curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada de arenas limpias, donde se busca determinar el ángulo de fricción y el coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas. Por lo tanto, de esta manera queda definida la unidad de análisis.

3.6.2.1. Cálculo de la Muestra en Poblaciones Infinitas

Una vez delimitado adecuadamente la población a través de dar a conocer sus características y definido la muestra de estudio por medio de las unidades de análisis; el siguiente paso es calcular el tamaño de la muestra y posteriormente seleccionar el procedimiento de muestreo.

Es obvio que si cada uno de los sujetos de estudio de una investigación tuvieran exactamente las mismas características, el tamaño requerido de la muestra sería solamente uno; pero al no presentarse el caso, necesitamos establecer un tamaño de muestra mayor de uno, pero menor que la población total o universo. (Borja, 2012, p. 31).

Ochoa (2013) exhibe la Ecuación 55 mostrada enseguida, para el cálculo del tamaño de muestra con universos de tamaño muy grande para la estimación de proporciones (se considera muy grande a partir de 100,000 individuos y/o unidades), resultando lo siguiente: (párr. 16).

$$n = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{e^2} \quad (55)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra que se quiere calcular.

e = Margen de error máximo que se admite (es el intervalo en el cuál se espera encontrar el dato que se quiere medir del universo).

Los niveles de error más comunes son 1 y 5% (uno implica tolerar muy poco error, 1 en 100, por así decirlo; mientras que 5% es aceptar en 100 cinco posibilidades de equivocarnos). (Hernández et al., 2014, p. 179).

Se opta por un valor de $\alpha = 5\% \approx 0.05$, ya que es uno de los niveles de error más comunes que suelen fijarse en la investigación, además de que es un valor convencional con un grado de aceptabilidad tolerable.

Z = Desviación del valor medio que se acepta para lograr el nivel de confianza deseado (expresa la certeza de que realmente el dato que se busca esté dentro del margen de error). En función del nivel de confianza que se busque, usa un valor determinado que viene dado por la forma que tiene la distribución de Gauss. Los valores más frecuentes se muestran en la Tabla 13, presentado a continuación:

Tabla 13.
Valores más frecuentes de Z

Nivel de confianza 90%	$Z = 1.645$
Nivel de confianza 95%	$Z = 1.96$
Nivel de confianza 99%	$Z = 2.575$

Nota: Z = Valor medio del nivel de confianza. Adaptado de “¿Qué tamaño de muestra necesito?”, por Ochoa C., 2013, párr. 11.

Se opta por un nivel de confianza del 95%, a lo que responde Hernández et al. (2014): Implica que el investigador tiene 95% de seguridad para generalizar sin equivocarse y solo 5% en contra. En términos de probabilidad, 0.95 y 0.05, respectivamente; ambos suman la unidad (...). No se acepta un nivel de 0.06 (94% a favor de la generalización confiable), porque se busca hacer ciencia lo más exacta posible. (p. 302).

Por lo que de acuerdo a la Tabla 13, se obtiene $Z = 1.96$ (este es un valor constante, es decir; casi siempre es tomado en consideración para el cálculo del tamaño de la muestra).

p = Proporción que se espera encontrar (si cumple la característica deseada).

El porcentaje estimado de la muestra es la probabilidad de ocurrencia del fenómeno (representatividad de la muestra o no representatividad, la cual se estima sobre marcos de muestreo previos o se define. La certeza total siempre es igual a uno, las posibilidades a partir de esto son “p” de que sí ocurra y “1-p” de que no ocurra). (Hernández et al., 2014, p. 179).

En esta parte se realiza un sub análisis para sustentar el cálculo del valor de p (proporción que se espera encontrar).

En el Ítem 3.6.2, se definió que la muestra viene dada por curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada, más no de textura discontinua, por el simple hecho de ser considerada como atípica, con la condición de que los resultados a obtener puedan generalizarse a esta. Por lo tanto, las curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada es la proporción que se espera encontrar (por ser curvas típicas), caso contrario sucede con las curvas granulométricas de textura discontinua cuya proporción no se espera encontrar.

Ahora para obtener el valor de p, en primera instancia se recurrió a realizar una búsqueda de todas las curvas granulométricas de textura abierta, media, cerrada y discontinua de arenas limpias, en base al listado del Ítem 3.4. Resultando que, por cada 50 curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada, se encuentra solo una curva de textura discontinua. Por lo tanto, de un total de 51 curvas de diversas texturas, una es de textura discontinua, es decir la proporción que no se espera encontrar es: $1-p = 1/51$, por consiguiente, despejando p, que es la proporción que se espera encontrar, da como resultado $p = 0.9804$.

Después de haber sustentado la obtención de los valores (e, Z y p) para la determinación del tamaño de la muestra, se reemplaza estos en la Ecuación 55, lográndose presentar la siguiente ecuación, donde:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.9804 * (1 - 0.9804)}{0.05^2} = 29.53 \approx 30.00 \quad (56)$$

Según la Ecuación 56, se tiene como resultado en primer término $n = 29.53$, obteniéndose un número decimal, de modo que no es posible realizar el estudio de 29.53

curvas granulométricas, por el simple hecho de que la muestra viene dada por unidades de análisis y no por decimales de análisis.

Entonces lo recomendable es redondear al entero superior ($n= 30.00$), con la finalidad de que el nivel de confianza aumente ($> 95\%$), caso contrario si se redondea al entero inferior, este disminuirá; por lo que no sería conveniente.

Así pues, el tamaño de la muestra es igual a 30 curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada de arenas limpias, donde se busca determinar el ángulo de fricción y el coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas.

No obstante Jiménez (1998) declara: “Estos conceptos de población y muestra están relacionados con aspectos propios de la estadística. Precisamente si, con una muestra se pretende obtener conclusiones válidas para una población entonces es obviamente necesario que la muestra sea representativa de dicha población” (p. 44). En este sentido, se había mencionado en el Ítem 3.6.2, de acuerdo a Borja (2012), que la muestra tendría que ser estadísticamente representativa, con el objetivo de que los resultados obtenidos puedan ser aplicados al total de la población. Y de esta forma se da razón a lo declarado por Jiménez (1998).

Por lo tanto, para que la muestra sea aún más representativa respecto a la población, el tamaño de la muestra deberá de aumentar ($n> 30$), y en consecuencia se tendrá dos alternativas; reducir el margen de error (los resultados del estudio serán más confiables) o incrementar el nivel de confianza, pero como el valor Z del nivel de confianza al 95% es constante, se opta por reducir el margen de error.

Para el caso del ángulo de fricción, se plantea realizar el estudio con un $n= 90$, es decir tres veces mayor al $n= 30$ (tamaño de muestra mínimo). El criterio para plantear un $n= 90$, depende de la gravedad específica en arenas limpias, al ser considerada como una variable influyente en la determinación del ángulo de fricción. Como ha sido el caso de la granulometría (textura de curva granulométrica), la gravedad específica también puede encontrarse en la corteza terrestre con diferentes valores, a causa principalmente a la de su origen geológico.

Una vez definida el tamaño de la muestra para el ángulo de fricción ($n=90$), se realiza el cálculo del margen de error, despejando “e” de la Ecuación 55 exhibida por Ochoa (2013), obteniendo la siguiente Ecuación 57:

$$e = \sqrt{\frac{Z^2 * p * (1 - p)}{n}} \quad (57)$$

Sustituyendo valores (Z , p y n) en la Ecuación 57, se obtiene el rango de error “e”, tal como se presenta enseguida en la Ecuación 58:

$$e = \sqrt{\frac{1.96^2 * 0.0196 * (1 - 0.0196)}{90}} = 0.0286 \approx 2.86\% \quad (58)$$

El rango de error de acuerdo a la Ecuación 58, es igual a $e=2.86\%$, para un $n=90$, en el caso del ángulo de fricción, por lo que queda demostrado que, si se aumenta el tamaño de la muestra, reduce el rango de error.

Ahora para el caso del coeficiente de permeabilidad, no se hace necesario aumentar el tamaño de la muestra, por la sencilla razón de que la gravedad específica no es una variable que influya directamente en la determinación del coeficiente de permeabilidad, por lo que el tamaño de la muestra para este caso permanece, con un $e=5\%$ y un $n=30$.

Al haber definido el tamaño de la muestra tanto para el estudio del ángulo de fricción como del coeficiente de permeabilidad, por consiguiente, se realiza la selección del procedimiento de muestreo. Borja (2012) propone dos tipos de muestreo: muestreo probabilístico y muestreo no probabilístico, en el primer tipo de muestreo, todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser escogidos y en el segundo, la selección de los elementos no depende de la probabilidad sino del criterio del investigador (características de la investigación). (p. 32).

En primera instancia, el tipo de muestreo que se elegiría de acuerdo a lo sustentado hasta ahora, vendría a ser el muestreo probabilístico, específicamente el muestreo aleatorio simple, donde todas las unidades de análisis tienen las mismas probabilidades de salir seleccionadas como parte de la muestra. Sin embargo, si bien es cierto la población

está definida por curvas granulométricas de diversas texturas de arenas limpias de toda la corteza terrestre (población infinita), y realizar el estudio a nivel mundial, inicialmente demandaría de tiempo y costo, por lo que no sería una alternativa viable.

Entonces se opta por el muestreo no probabilístico, donde la selección de las unidades de análisis, no depende de la probabilidad sino del criterio del investigador en relación a las características que se tiene de la investigación.

Por lo que se hace conveniente desarrollar el estudio a través de curvas granulométricas “confeccionadas”, es decir; realizar la confección de curvas en laboratorio a partir del ensayo de análisis granulométrico inverso, partiendo de diversas dosificaciones por tamaño, con la finalidad de observar su comportamiento de manera controlada, teniendo el criterio de haberlas elaborado en base a curvas granulométricas típicas que presenten textura abierta, media y cerrada de arenas limpias. En el Ítem 3.6.2.2, se da a conocer de forma detallada el criterio para la selección de la muestra (muestreo no probabilístico).

Según a lo aclarado anteriormente, esta parte queda estableciéndose que para el estudio del ángulo de fricción (variable dependiente), está dado por 90 curvas granulométricas confeccionadas de textura abierta, media y cerrada (textura de curva granulométrica – variable interviniente), con un margen de error del 2.86% y nivel de confianza del 95%, con el objetivo de determinarlo en función al coeficiente de uniformidad (variable independiente) que a la vez este influenciado por la gravedad específica (variable independiente).

Del mismo modo para el estudio del coeficiente de permeabilidad (variable dependiente), dado por 30 curvas granulométricas confeccionadas de textura abierta, media y cerrada (textura de curva granulométrica – variable interviniente), pero con un margen de error del 5% y nivel de confianza del 95%, con el objetivo de determinarlo en función al diámetro efectivo (variable independiente) que a la vez esté influenciado por la relación de vacíos (variable independiente).

En resumen, hasta este punto del Ítem 3.6, la población de estudio estuvo constituida por suelos arenosos limpios, pero se dio por conveniente representarlo mediante curvas granulométricas de diversas texturas. Lo propio se hizo con la muestra de estudio, al representarlo específicamente por curvas granulométricas de textura abierta, media y

cerrada, y por último se optó por realizar el muestreo a criterio del investigador a través de curvas granulométricas confeccionadas de arenas limpias, obtenidas a partir del ensayo de análisis granulométrico inverso.

3.6.2.2. Criterio para la Selección de la Muestra

Conforme a lo indicado precedentemente, se ha optado por realizar un muestreo no probabilístico que depende principalmente del criterio del investigador, el cual consta de realizar la confección de curvas granulométricas que presenten textura abierta, media y cerrada de arenas limpias, ya que la muestra de estudio está dada por estos tipos de texturas.

Se hace mención también el haber definido el tamaño de la muestra para el ángulo de fricción con un $n=90$ y para el coeficiente de permeabilidad con un $n=30$, los mismos que están representados por curvas granulométricas confeccionadas de textura abierta, media y cerrada de arenas limpias, obtenidas a partir del ensayo de análisis granulométrico inverso. Por cuanto, antes de ejecutar dicho ensayo, es necesario realizar el muestreo para la selección de la muestra, es decir; antes que nada, se deberá de contar con curvas granulométricas presentadas gráficamente, para su posterior confección en relación a las texturas que se deseen.

Ahora, para la selección de la muestra (curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada de arenas limpias), se tuvo el criterio de seleccionarlo en base a curvas granulométricas típicas de suelos granulares, las mismas que han sido recolectadas de acuerdo al listado del Ítem 3.4, que vienen hacer referencias a nivel mundial, y de esta manera poder abarcar a toda la corteza terrestre, dado que la población de estudio está delimitada mundialmente. Seguidamente se presenta a continuación la metodología para la selección de la muestra, por medio de las Figuras 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, y 36, en relación al criterio del investigador.

- En primer lugar, se recolectó un total de 73 curvas granulométricas típicas de suelos granulares – gravas y arenas (Figura 27), de clasificación: GW, GP-GM, SW, SP, SM, SC, SW-SM y SP-SM; las propias que han sido extraídas de libros físicos y digitales, informes geotécnicos, trabajos de investigación, entre otras fuentes.

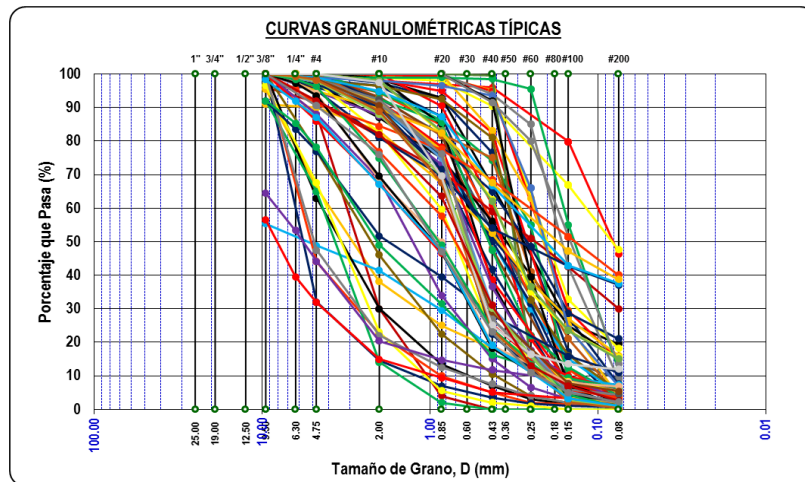


Figura 27. Curvas granulométricas típicas de suelos granulares. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

- Seguidamente se realizó el descarte de las curvas granulométricas típicas de gravas (GW y GP-GM), dado que no son motivo de estudio, logrando obtener 67 curvas granulométricas típicas de suelos arenosos (Figura 28), de clasificación: SW, SP, SM, SC, SW-SM y SP-SM.

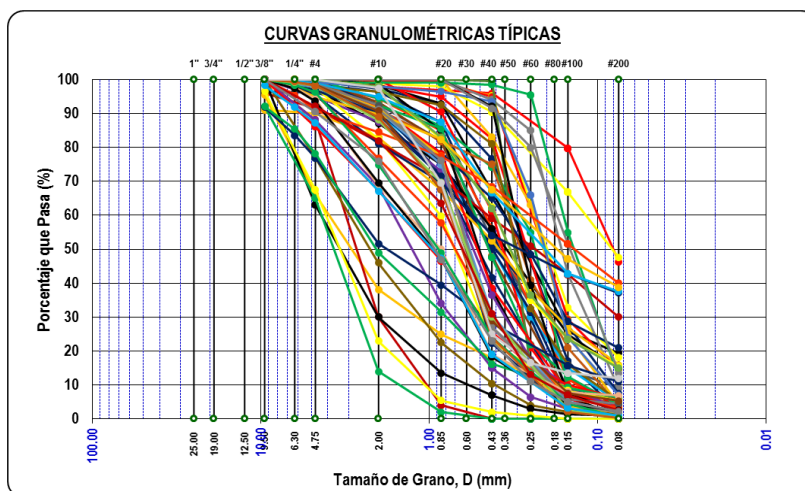


Figura 28. Curvas granulométricas típicas de suelos arenosos. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

- Del mismo modo se hizo el descarte de las curvas granulométricas típicas de arenas con finos (SM y SC), logrando obtener 51 curvas granulométricas típicas de arenas limpias y arenas limpias con finos (Figura 29), de clasificación: SW, SP, SW-SM y SP-SM.

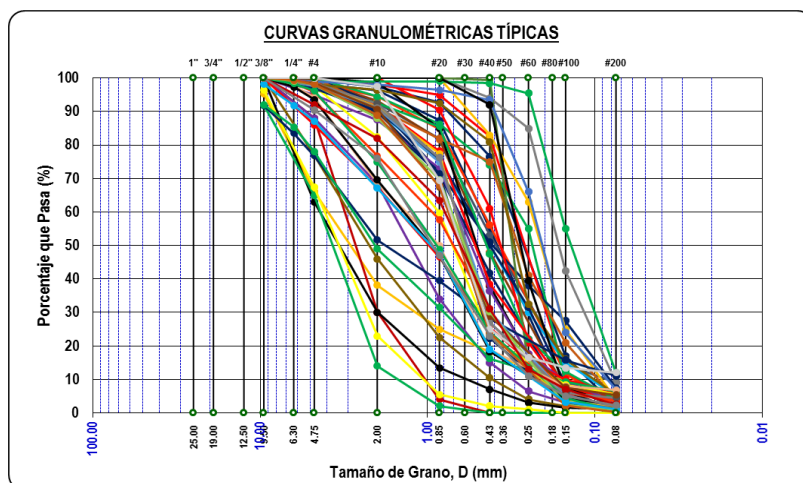


Figura 29. Curvas granulométricas típicas de suelos arenosos limpios y limpios con finos. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

- Finalmente se hizo el descarte de las curvas granulométricas típicas de arenas limpias con finos (SW-SM y SP-SM), logrando obtener 34 curvas granulométricas típicas de arenas limpias (Figura 30), de clasificación: SW y SP.

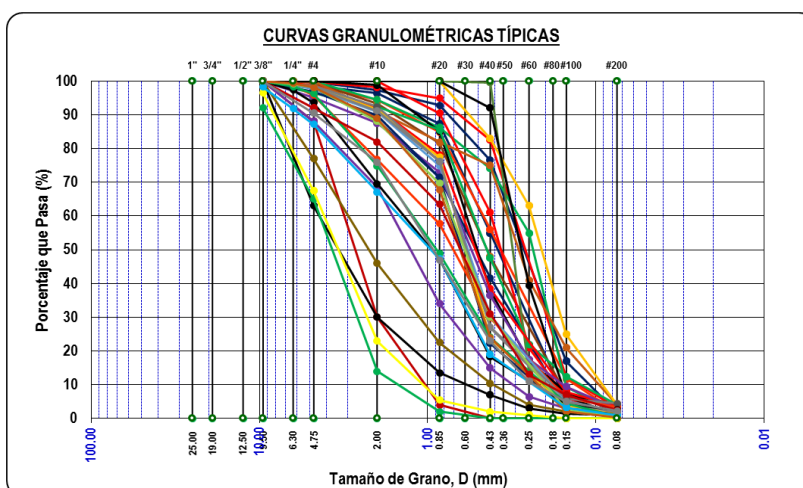


Figura 30. Curvas granulométricas típicas de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

- Una vez obtenida las curvas granulométricas típicas de suelos arenosos limpios (SW y SP), se vio necesario dividirlo por su textura de curva granulométrica (T_{CG}), en base a lo referenciado por Crespo (2008), dividiéndolo en 3 grupos denominados textura abierta, textura media y textura cerrada, logrando obtener 12 curvas de textura abierta (SP y SW), 7 curvas de textura media (SP) y 15 curvas de textura cerrada (SP), todas ellas curvas granulométricas típicas de arenas limpias, presentadas en las Figuras 31, 32 y 33, respectivamente.

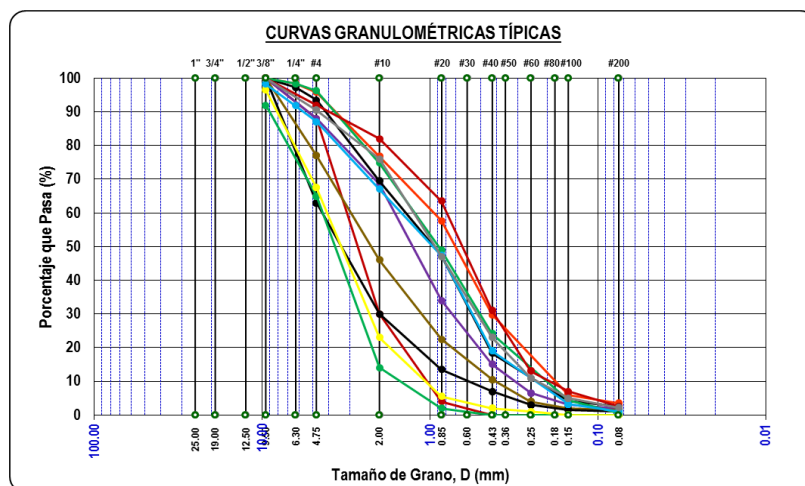


Figura 31. Curvas granulométricas típicas de textura abierta de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

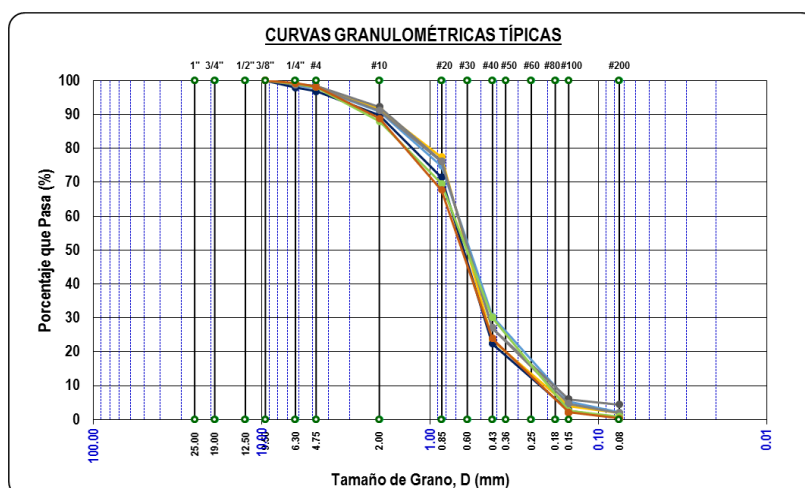


Figura 32. Curvas granulométricas típicas de textura media de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

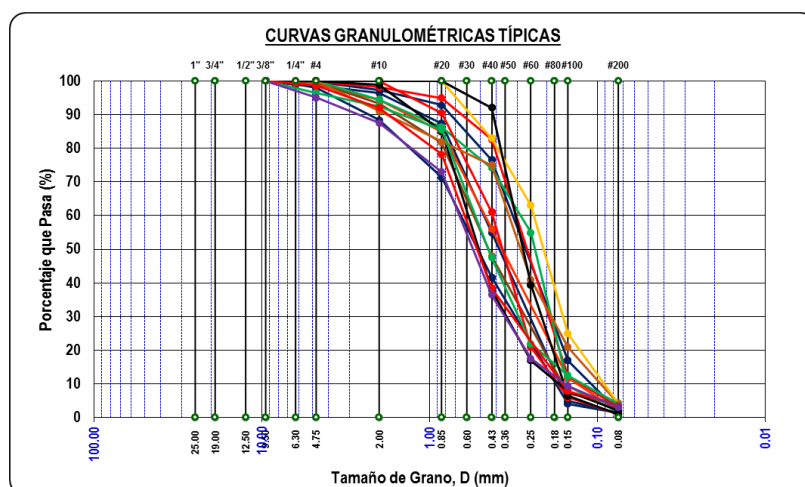


Figura 33. Curvas granulométricas típicas de textura cerrada de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

- Posteriormente, se procedió a confeccionar gráficamente curvas granulométricas de arenas limpias (SW y SP), acorde a las Figuras 31, 32 y 33, las mismas que están divididas por su textura de curva granulométrica (T_{CG}).

Para las curvas granulométricas de textura abierta, se tuvo el criterio de haberlas confeccionado a través de puntos equidistantes para cada tamiz, las cuales estén dentro del límite superior e inferior de las curvas granulométricas típicas.

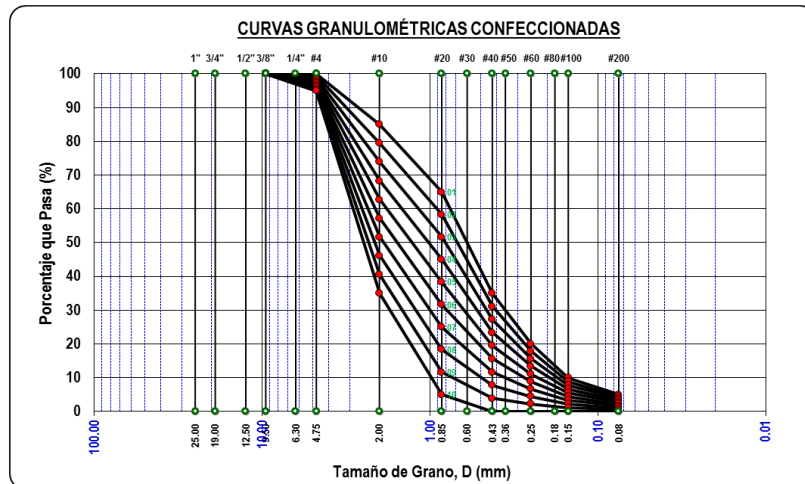


Figura 34. Curvas granulométricas confeccionadas de suelos arenosos limpios de textura abierta. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

En las curvas granulométricas de textura media, asimismo se tuvo el criterio de haberlas confeccionado a través de puntos equidistantes para cada tamiz, las cuales estén dentro de los límites de las curvas típicas, respecto a un punto de inflexión.

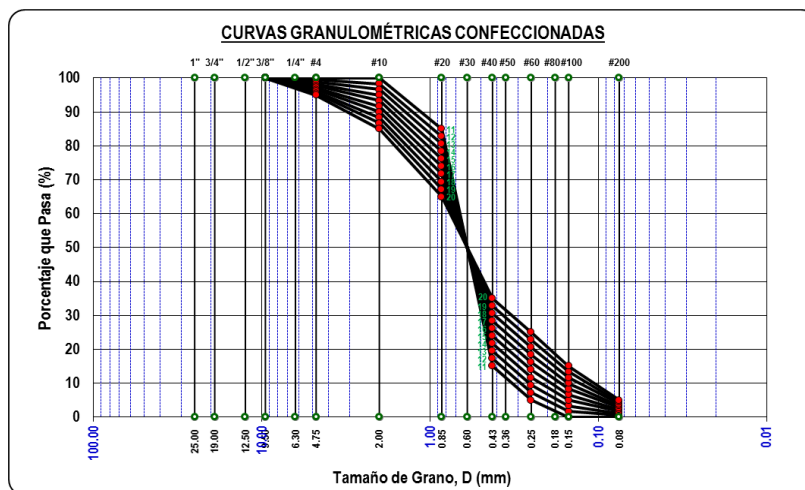


Figura 35. Curvas granulométricas confeccionadas de textura media de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Y en las curvas granulométricas de textura cerrada, también se tuvo el criterio de haberlas confeccionado a través de puntos equidistantes para cada tamiz, las cuales estén dentro del límite superior e inferior de las curvas granulométricas típicas.

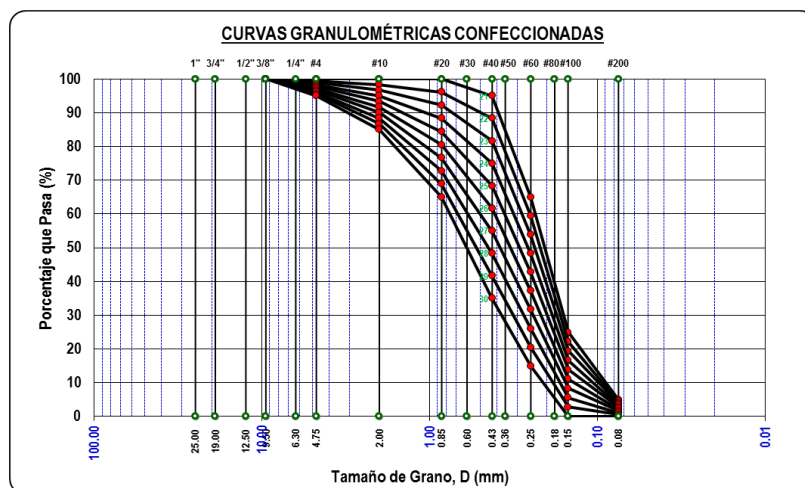


Figura 36. Curvas granulométricas confeccionadas de textura cerrada de suelos arenosos limpios. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

En las Figuras 34, 35 y 36, exhibidas anteriormente, se logró la confección gráfica de 10 curvas de textura abierta (SP y SW), 10 curvas de textura media (SP y SW) y 10 curvas de textura cerrada (SP), haciendo un total de 30 curvas granulométricas confeccionadas de textura abierta, media y cerrada de arenas limpias, para su posterior aplicación en el estudio.

Se planteó en el Ítem 3.6.2.1, realizar el estudio para el ángulo de fricción por medio de 90 curvas granulométricas confeccionadas de textura abierta, media y cerrada de arenas limpias, porque se sustentó que la gravedad específica es una variable influyente en la determinación del ángulo de fricción, dado que se hace conveniente experimentar muestras de arenas limpias obtenidas de canteras de río que presenten diferente gravedad específica, para que de esta manera se observe la incidencia de esta variable. Sin embargo, se cuenta con 30 curvas granulométricas confeccionadas y no con 90, por lo que se propone desarrollar el estudio de 30 curvas granulométricas confeccionadas por cantera; es decir, por gravedad específica (valor único por cantera), completando de tal forma el estudio de 03 canteras, para cumplir con las 90 curvas granulométricas confeccionadas, planteadas en un principio.

Asimismo, en dicho ítem se planteó también realizar el estudio para el coeficiente de permeabilidad por medio de 30 curvas granulométricas confeccionadas de textura abierta,

media y cerrada de arenas limpias, al haberse optado por el tamaño de muestra mínimo, por el simple hecho de que la gravedad específica no es una variable influyente en la determinación del coeficiente de permeabilidad, por lo que se propone desarrollar el estudio de 30 curvas granulométricas confeccionadas de 01 cantera.

En conclusión, como se ha podido sustentar a lo largo del Ítem 3.6, la población de estudio está delimitada por curvas granulométricas de diversas texturas de arenas limpias de toda la corteza terrestre. En cuanto se refiere a la muestra de estudio está representada específicamente por curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada. Respecto al cálculo del tamaño de muestra ($n= 30$); para el caso del ángulo de fricción se considera un $n= 90$ y para el coeficiente de permeabilidad permanece con un $n= 30$. El tipo de muestreo es a criterio del investigador, realizando la confección de 30 curvas granulométricas confeccionadas (10 de textura abierta, 10 de textura media y 10 de textura cerrada). Y para la obtención de muestras de arenas limpias para la confección de curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada, se propone es estudio de 03 canteras para el ángulo de fricción y el estudio de 01 cantera para el coeficiente de permeabilidad.

3.7. Área de Estudio e Investigación

En cuanto se refiere al área de estudio en la presente tesis, queda localizada en la ciudad de Juliaca, específicamente en las canteras de río: Maravillas, Unocolla e Isla, donde se realizaron exploraciones a cada una de ellas, con el objetivo de obtener muestras alteradas de arenas limpias, para que de esta manera se realice la confección de curvas granulométricas, a partir del ensayo de análisis granulométrico inverso, y posteriormente una vez confeccionadas las muestras, ejecutar los ensayos de gravedad específica, densidad mínima y máxima, y permeabilidad de carga constante, esto aplicado al estudio de 90 y 30 curvas granulométricas confeccionadas de textura abierta, media y cerrada, para el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad, respectivamente.

A continuación, en el Ítem 3.7.1, se realiza una breve descripción de la ubicación y las características del área de estudio.

3.7.1. Ubicación y Características del Área de Estudio

3.7.1.1. Localización

La ciudad de Juliaca se encuentra ubicada al sur del Perú, en el departamento de Puno, provincia de San Román, a 15°29'40" de Latitud Sur y 70°07'54" de Longitud Oeste y a una altitud de 3824 m.s.n.m. Ocupa parte de la meseta altiplánica de Toropampa, en la cuenca del río Coata, sección Ayabaca, desarrollándose entre los cerros Zapatiana, de la Cruz y Huaynaroque. Se encuentra asimismo atravesada de Este a Oeste por el río Torococha, que desemboca en el río Coata y continúa su curso hasta desembocar en el Lago Titicaca. (Plan Director de Juliaca 2004 – 2015, p. 16).

Las Figuras 37 y 38, muestran la ubicación de la ciudad de Juliaca y la ubicación de las canteras de río de estudio.

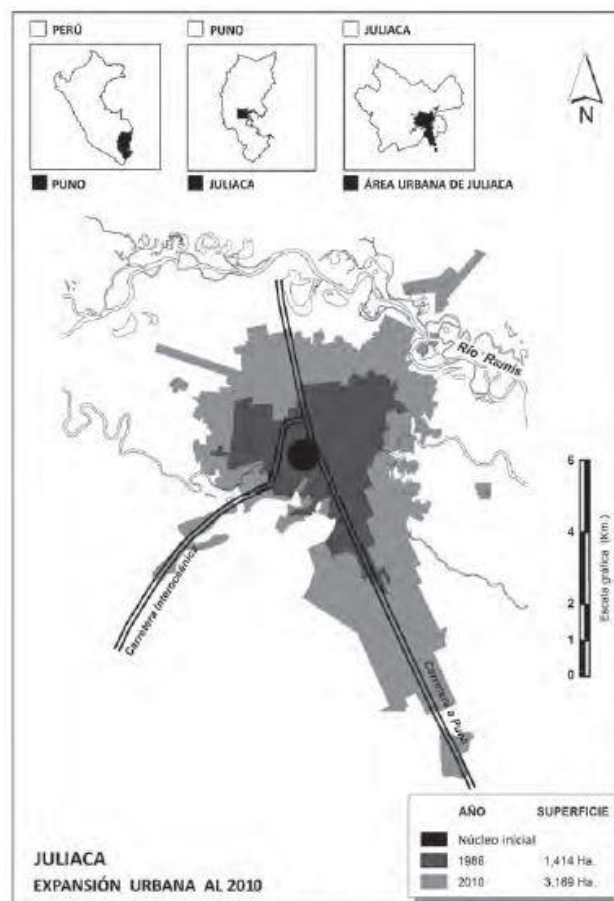


Figura 37. Ubicación de la ciudad de Juliaca, respecto a nivel nacional, regional y provincial. Adaptado de "Plan Director de Juliaca 2004 – 2015".

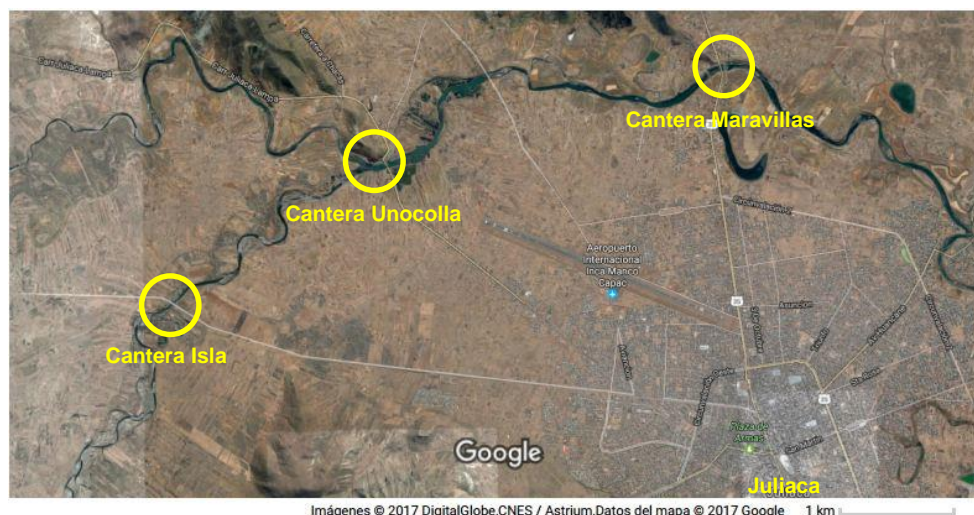


Figura 38. Ubicación de las canteras de río Maravillas, Unocolla e Isla, respecto al centro de la ciudad de Juliaca. (Elaboración propia con Google Maps, 2017).

3.7.1.2. Hidrografía

- **Río Juliaca:** En nuestro medio el río Coata nace de la unión de los ríos Lampa y Cabanillas, los cuales se unen en la zona de Unocolla, a pocos metros del puente del mismo nombre; el Coata es uno de los principales ríos de la Hoya Hidrográfica del Titicaca. En su recorrido este río adopta varias denominaciones como: Unocolla, Maravillas, Cacachi y Coata propiamente dicho. En el tramo de los ríos Unocolla, Maravillas y Cacachi, es conocido también como río Juliaca; el mismo que tiene su cauce serpenteante a lo largo de la parte Norte y Este del distrito, y en su recorrido, en varios tramos se divide, para luego unirse nuevamente, dando origen de esta manera a pequeñas islas aptas para el desarrollo agropecuario. Desde su nacimiento el río recorre de Oeste a Este hasta la altura del Puente Maravillas, para luego dirigirse al Sur-Este. El caudal del río Juliaca es variable, aumenta en verano y decae paulatinamente en los meses sucesivos. Tiene una descarga media anual de 40.87 m³/seg. (Apaza, 2010, p. 34).

- **Río Toroqocha:** (T'uruqocha= Pantanal): Apaza (2010) cita: Hasta hace pocos siglos era un río importante y, últimamente, devino en un río ocasional. Se origina en los cerros de Chullunquiani y se desplaza en dirección a la ciudad de Juliaca, a la que ingresa por la altura del barrio Bellavista, y cruza la ciudad por debajo de la avenida Ferial, para luego tomar los bajos de la actual calle Lima, y después ingresar a la calle Dos de Mayo y Piérola de donde se desvía hasta desembocar en el sector conocido como el Totoral, de ahí avanza al encuentro del río Coata a la cual ingresa por su margen derecho constituyéndose de esta manera como uno de sus afluentes. (p. 34).

La superficie de Juliaca también tiene algunos pequeños riachuelos que solo, en tiempo de lluvias, hacen sentir su presencia, los cuales sirven para efectuar lavados o irrigar zonas adyacentes. Además, también se pueden encontrar lagunas, lagunitas, aguas minerales y aguas subterráneas. (Apaza, 2010, p. 34). Enseguida se exhiben fotografías aéreas de las canteras de río Maravillas, Unocolla e Isla, mediante las Figuras 39, 40 y 41.



Figura 39. Fotografía aérea de la cantera Maravillas – Salida a Cusco. (Elaboración propia con Google Maps, 2017).

La cantera de río “Maravillas”, está situada en la salida a la región de Cusco, a 6.21 km en línea recta desde el centro de la ciudad de Juliaca y a pocos metros del puente del mismo nombre, con una altitud de 3834 m.s.n.m. Dicha cantera de río pertenece a uno de los tramos del río denominado Juliaca, que a la vez es parte del río principal Coata (Ver Anexo H).



Figura 40. Fotografía aérea de la cantera Unocolla – Salida a Lampa. (Elaboración propia con Google Maps, 2017).

La cantera de río “Unocolla”, está situada en la salida a la provincia de Lampa, a 7.90 km en línea recta desde el centro de la ciudad de Juliaca y a pocos metros del puente del mismo nombre, con una altitud de 3844 m.s.n.m. Dicha cantera de río pertenece también a uno de los tramos del río Juliaca, que a la vez es parte del río principal Coata (Ver Anexo H).



Figura 41. Fotografía aérea de la cantera Isla – Salida a Isla. (Elaboración propia con Google Maps, 2017).

La cantera de río “Isla”, está situada en la salida al centro poblado de Isla, a 9.72 km en línea recta desde el centro de la ciudad de Juliaca y a pocos metros del puente del mismo nombre, con una altitud de 3840 m.s.n.m. Dicha cantera de río pertenece al río Cabanillas, que conjuntamente con el río Lampa, logran que nazca el río Coata (Ver Anexo H).

Seguidamente en la Tabla 14, se presenta las coordenadas UTM y las altitudes de las canteras de estudio.

Tabla 14.
Coordenadas UTM y altitud de canteras

UBICACIÓN	CANTERA	COORDENADAS – UTM*			ALTITUD* (m.s.n.m.)
		ZONA	ESTE	NORTE	
JULIACA	MARAVILLAS	19L	377951.51	8293005.52	3834
	UNOCOLLA	19L	371838.47	8291489.71	3844
	ISLA	19L	368788.96	8289219.57	3840

Nota: UTM= Sistema de Coordenadas Universal. (Elaboración propia - *Google Earth, 2017).

3.7.1.3. Clima

El clima es el resultado de un conjunto de condiciones atmosféricas de una región o lugar. El lago Titicaca influye considerablemente en el clima del altiplano, ya que modera la temperatura y el grado de humedad de la atmósfera. Por su localización geográfica, Juliaca tiene un clima frígido, ventoso y con escasa humedad. (Apaza, 2010, p. 39).

El Plan Director de Juliaca 2004 – 2015 detalla: Según los estudios del Proyecto Especial Lago Titicaca, el clima de la ciudad de Juliaca está clasificado como semilluvioso y frío, con otoño, invierno y primavera secos, y está descrito como frío y seco. La temperatura fluctúa entre los 19°C y -7°C, siendo la temperatura promedio anual de 8.4°C. Los meses más cálidos son de noviembre a marzo y los más fríos de junio a agosto. El promedio anual de precipitaciones pluviales es de 610.3 mm, donde los meses de mayor precipitación son de enero a marzo. (p. 49).

3.7.1.4. Geología

La ciudad de Juliaca ocupa 3330 Has, de las cuales alrededor del 74.61% (229.16 Has son ocupadas por manzanas y 155.15 Has por vías asfaltadas) ha sido cambiada, de suelo natural a suelo construido, impermeabilizándolo. Esto significa que hasta para una pequeña lluvia le es difícil el escurrimiento natural, dificultando la evacuación natural de las aguas (por escurrimiento hacia los causes naturales), por evapotranspiración hacia la atmósfera o por absorción del subsuelo hacia la napa freática) que incrementa los frecuentes empozamientos que la ciudad sufre. Si a esto le sumamos la predisposición natural del suelo de Juliaca a la acumulación de agua por la presencia de humedales, concluimos que Juliaca ha aumentado sus posibilidades de sufrir inundaciones, que están afectando las infraestructuras existentes y disminuyendo la calidad de vida de grandes sectores de población. (Plan Director de Juliaca 2004 – 2015, p. 50).

A ello contribuye el tipo de suelo presente en la ciudad (específicamente en el área de estudio), que según los estudios de INGEMMET se encuentra asentada sobre las siguientes unidades litoestratigráficas:

- Q-co (Depósitos coluviales): Gravas heterométricas y arenas depositados al pie de taludes.

- Q-fl (Depósitos fluviales): Gravas polimícticas y arenas depositados en el fondo de los valles formando terrazas o playas.
- Q-al (Depósitos aluviales): Gravas polimícticas, redondeadas a subredondeadas, y arenas que constituyen terrazas y abanicos aluviales extensos.
- Kis-ay (Formación Ayabacas): Calizas color gris que varían de mudstone a wackstone con laminación algácea y limolitas rojas laminadas.
- Ki-hn (Formación Huancané): Areniscas cuarzosas con laminaciones cruzadas. Intercaladas de limolitas de color rojizo, hacia el tope presenta microconglomerados monomísticos, matriz soportante con canales.
- PsT-mi (Grupo Mitu): Areniscas arcósicas de coloración rojizas a púrpuras con laminaciones cruzadas y paralelas. Intercalaciones de areniscas cuarzosas y limolitas rojas con algunos niveles de limolitas verdes.
- Ci-a (Grupo Ambo): Areniscas cuarzosas blanquecinas con estratificación cruzada y niveles conglomerádicos, luego intercalación de areniscas grises con limolitas gris verdosas.
- D-ca (Grupo Cabanillas): Areniscas cuarzosas gris verdosas micáceas con intercalaciones con delgados niveles de limolitas micáceas y lutitas.
- PsT-is/tcri (Grupo Iscay): Lavas afaníticas afíricas, y tobas de cristales, textura porfirítica, matriz rojiza violácea con cristales de plagioclasa.

Las Figura 42, presenta el mapa geológico del cuadrángulo de Juliaca, además de la ubicación de las canteras de río de estudio.

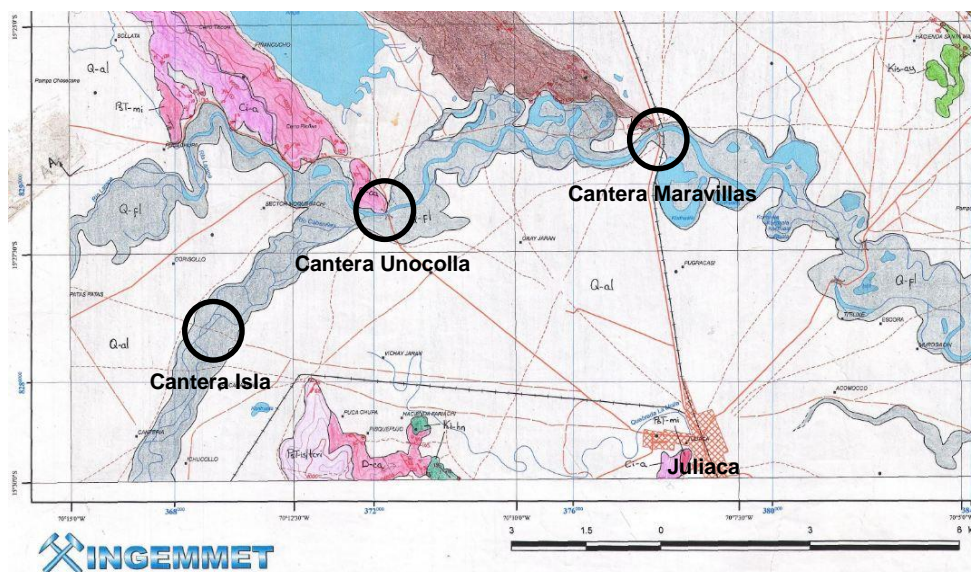


Figura 42. Mapa geológico del cuadrángulo de Juliaca (Escala: 1:50,000) – Hoja 31 v2. Adaptado de “Base topográfica IGN”, 2010, actualizado por el INGEMMET en el 2014.

En relación a la Figura 42 presentada anteriormente, el área de estudio (canteras de río) está asentada en la unidad litoestratigráfica “Q-fl”, y según el INGEMMET, viene a ser un depósito fluvial, que presenta gravas polimícticas y arenas depositados en el fondo de los valles formando terrazas o playas. Cabe que este tipo de depósito, está presente a lo largo de los ríos Cabanillas, Unocolla y Maravillas (las dos últimas pertenecientes al río Coata), en donde se ubican las canteras de río Isla, Unocolla y Maravillas, correspondientemente.

3.7.1.5. Geomorfología

El Plan Director de Juliaca 2004 – 2015 describe también: La localización de Juliaca en la meseta de Huata, un espacio relativamente plano sin grandes accidentes geográficos, ha favorecido el crecimiento horizontal de la ciudad durante los últimos años a través de una trama regular de manzanas que se han ido anexando a las ya existentes, sin dejar los grandes espacios necesarios para la formación de áreas verdes y otros tipos de equipamiento necesarios para el desarrollo sostenible de la ciudad. (p. 51).

Según los datos obtenidos, el 94.67% del área urbana de Juliaca está localizada en terreno plano llamado de Meseta, el 3.04% se asienta en las zonas de ‘valles’ que forman los cerros aledaños y solo el 2.29% está localizado en los cerros circundantes. Presenta una pendiente entre 0% y 5%, lo que explica la limitada capacidad del territorio para la evacuación natural de las aguas, ya sean las originadas por precipitación o las generadas por la actividad urbana y, asimismo, la instalación de desagües encuentra problemas en varios sectores de la ciudad, debido principalmente a la baja pendiente del territorio, hecho que obligará a las autoridades correspondientes a adoptar medidas creativas para abastecer de red pública de desagües a toda la ciudad. (Plan Director de Juliaca 2004 – 2015, p. 51).

Entonces en concordancia con el Ítem 3.7, sustentado anteriormente, el área de estudio corresponde a canteras de río de origen fluvial (con presencia de gravas y arenas), ubicadas en la ciudad de Juliaca, específicamente en las salidas de esta ciudad, donde se extraerán muestras alteradas de arena, con el fin de confeccionar curvas granulométricas, mediante en ensayo de análisis granulométrico inverso, y posteriormente la realización de los demás ensayos de laboratorio.

3.8. Proceso de Recolección de Datos

Hernández et al. (2014) mencionan: El momento de aplicar los instrumentos de medición (recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que se tiene en mente) y recolectar los datos representa la oportunidad para el investigador de confrontar el trabajo conceptual y de planeación con los hechos. (p. 196).

La recolección de datos, cuantitativos en este caso, dado que la presente investigación adopta un enfoque CUANTITATIVO, se realiza mediante “Instrumentos de Medición”, que deben representar verdaderamente las variables de la investigación, además también de generar confiabilidad (grado en que un instrumento produce resultados consistentes y coherentes), validez (grado en que un instrumento mide la variable que pretende medir) y objetividad (grado en que el instrumento es permeable a los sesgos y tendencias del investigador que lo administra, califica e interpreta). Y para la recolección de datos a través de instrumentos de medición, existen varios tipos, tales como: Cuestionarios, escalas de medición, observación, pruebas estandarizadas e inventarios, datos secundarios, aparatos y equipos, indicadores, entre otros. (Hernández et al., 2014, p. 197).

En relación a lo sustentado líneas arriba y sabiendo que la investigación es de diseño EXPERIMENTAL, donde se busca obtener valores o datos a partir de pruebas de laboratorio. Se sintetiza que los instrumentos de medición vienen a ser los aparatos y equipos, tal es el presente caso, ya que a partir de ellos se podrán recolectar datos a través de la medición de cada una de las variables de estudio. Y al ser aparatos y equipos de laboratorio generarán confiabilidad y validez, dado que estos son reglamentados y normados para su aplicación. En cuanto a la objetividad, se debe tener en consideración la influencia del operador (tesista) en el manejo de estos aparatos y equipos, como también en la manipulación de los datos.

Los instrumentos de medición (aparatos y equipos) que se utilizaron en la presente tesis, para el estudio del ángulo de fricción, coeficiente de permeabilidad y características físicas de las arenas, pertenecen al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la E.P. de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

Ahora para la aplicación de uno u otro instrumento de medición, se hace necesario realizar ensayos de laboratorio en base a procedimientos secuenciales, con el objetivo de

medir la variable que se desea. Por lo que posteriormente se presenta en el Ítem 3.8.1, los ensayos realizados tanto en laboratorio, como en campo.

3.8.1. Ensayos de Laboratorio y Campo

Los ensayos que se realizaron para el desarrollo de la tesis, son los ensayos de: análisis granulométrico inverso, densidad mínima y máxima, gravedad específica y permeabilidad de carga constante (ensayos de laboratorio), además de la exploración y muestreo (ensayo de campo). Enseguida se expone la metodología en el proceso de recolección de datos a través de la ejecución de ensayos tanto en laboratorio como en campo.

3.8.1.1. Exploración y Muestreo

En primer lugar, se realizó la exploración y muestreo del suelo (arena limpia), con la finalidad de determinar en laboratorio las características físicas (diámetro efectivo, coeficiente de uniformidad, gravedad específica, etc.), mecánicas (ángulo de fricción) e hidráulicas (coeficiente de permeabilidad). La exploración consiste en la investigación del subsuelo (cantera de río – depósito fluvial) y el muestreo se refiere a la obtención de una muestra representativa (arena limpia) que permita a través de su respectivo análisis mediante ensayos de laboratorio conocer las características del suelo.

El procedimiento realizado para la exploración y muestreo del suelo, fue el siguiente:

- Al principio se ubicó y señaló el punto de exploración, tanto en la salida a Cusco, Lampa e Isla de la ciudad de Juliaca, donde se encuentran las canteras de río Maravillas, Unocolla e Isla, respectivamente. (Ver Figura 38 o 42).
- Luego se retiró la materia orgánica presente en cada una de las canteras, a través de una pala.
- Seguidamente se realizó la exploración del suelo, encontrándose arena limpia acumulada en los exteriores del río, procedentes del mismo.
- Después se procedió al muestreo por separado de cada cantera de río, a través de sacos. Para la realización de los ensayos de mecánica de suelos se procedió a obtener 250 kg por cantera, con su correspondiente tarjeta de identificación (etiqueta), para su posterior traslado a las instalaciones del laboratorio.

A continuación, se exhiben las Figuras 43, 44 y 45, las mismas que muestran la exploración y muestreo in situ de las canteras de río en estudio.



Figura 43. Exploración y muestreo in situ de la cantera Maravillas – Salida a Cusco. (Elaboración propia).



Figura 44. Exploración y muestreo in situ de la cantera Unocolla – Salida a Lampa. (Elaboración propia).



Figura 45. Exploración y muestreo in situ de la cantera Isla – Salida a Isla. (Elaboración propia).

- Por último, se tomaron los datos correspondientes respecto a la ubicación de las canteras de río, una vez tomadas las muestras, con el material extraído anteriormente.

En cuanto a lo concerniente a la metodología de cálculo y presentación de resultados, en este caso no se procede realizar ningún cálculo.

3.8.1.2. Ensayo de Análisis Granulométrico Inverso

Al haber obtenido la muestra de arena limpia por medio de las canteras de río, se pasó a realizar la confección de curvas granulométricas a través del ensayo de análisis granulométrico inverso (ensayo adaptado por el tesista), con el objetivo de obtener muestra confeccionada de diferentes texturas para su posterior realización de ensayos (densidad mínima y máxima, gravedad específica y permeabilidad de carga constante). El ensayo de análisis granulométrico inverso consiste en un clásico análisis granulométrico pero realizado inversamente, es decir; antes que nada, se debe contar con la curva granulométrica, y a partir de ella obtener los porcentajes pasantes, los porcentajes retenidos acumulados, los porcentajes parciales y finalmente los pesos retenidos en cada tamiz, para que posteriormente se obtenga la muestra confeccionada de arena limpia (Ver Anexo A).

Los equipos y herramientas para el desarrollo del ensayo de análisis granulométrico inverso, se muestran enseguida por la Figura 46.



Figura 46. Tamices, fondo y balanza del ensayo de análisis granulométrico de suelos, aplicado en esta tesis para la separación de muestras de arena por pesos retenidos. (Elaboración propia).

El procedimiento ejecutado del ensayo de análisis granulométrico inverso del suelo, fue el que se presenta a continuación:

- Al comienzo se obtuvo las curvas granulométricas confeccionadas gráficamente (Ver Figura 34, 35 y 36) a partir de curvas granulométricas típicas de suelos arenosos (Ver Figura 31, 32 y 33) divididos por su textura abierta, media y cerrada.
- Luego se pasó a determinar los porcentajes pasantes de cada tamiz, y una vez de obtener ese valor, se procedió a determinar los porcentajes acumulados y parciales, para que de esta forma se obtenga los pesos retenidos de cada tamiz de acuerdo a la textura de la curva granulométrica confeccionada.
- Ahora también para poder obtener los pesos retenidos de cada tamiz, es necesario separar la muestra de arena extraída de las canteras de río, ya que esta está conformada por una variedad de tamaños de partículas en su composición física, los mismos que de acuerdo al tipo de suelo (arena limpia) varían desde tamaños considerables (arenas gruesas), hasta tamaños microscópicos (arcillas).

Se muestra a continuación la Figura 47, denominada ejecución del ensayo para la separación de muestras de arena por pesos retenidos.



Figura 47. Ejecución del ensayo para la separación de muestras de arena por pesos retenidos. (Elaboración propia).

- Al haber realizado la separación de muestras de arenas por pesos retenidos, de cada una de las canteras de estudio, se procedió después a clasificarlas por cada tamiz a tener en consideración, tal como se exhibe en la Figura 48, mostrada seguidamente.



Figura 48. Muestras de arena separada por pesos retenidos de los tamices #4, #10, #20, #40, #60, #100 y #200, conjuntamente el peso pasante del tamiz #200 de la cantera Maravillas, Unocolla e Isla. (Elaboración propia).

- Se pasó a realizar la dosificación de acuerdo a los pesos retenidos por tamiz, con la muestra de arena limpia separada por cada tamiz de cada una de las canteras de estudio. A continuación, se presenta la Figura 49, donde se puede apreciar muestras de arena confeccionadas a partir de los pesos retenidos de una curva granulométrica confeccionada de textura abierta de la cantera Maravillas, en este caso.



Figura 49. Muestras de arena dosificada por tamaño de acuerdo al peso retenido de los tamices 4, #10, #20, #40, #60, #100 y #200 de las curvas granulométricas confeccionadas de textura abierta de la cantera Maravillas. (Elaboración propia).

- Al término de este ensayo se etiquetó a cada una de las muestras confeccionadas de arena limpia, de cada una de las curvas granulométricas confeccionadas, tal como se

ve en la Figura 49. Esto realizado para su identificación inmediata para la ejecución de los posteriores ensayos.

En lo referente a la metodología de cálculo, se procedió a determinar los diámetros (D_{10} , D_{25} , D_{30} , D_{60} y D_{75}) tal como se calcula en la Figura 7, además también de determinar los parámetros granulométricos a través de las Ecuaciones 17, 18 y 19.

Y en cuanto a la presentación de resultados, es posible observarlo gráficamente por la Figura 58, o también por medio de tablas en el Anexo F.

3.8.1.3. Ensayo de Densidad Mínima y Máxima

Al obtener la muestra confeccionada a partir de los pesos retenidos de cada tamiz y de cada curva granulométrica confeccionada de textura abierta, media y cerrada, se pasó a realizar en ensayo de densidad mínima y máxima, con la finalidad de obtener el ángulo de fricción de una arena limpia. El ensayo de densidad mínima y máxima consiste en tomar una muestra representativa de arena seca; para la determinación de la densidad mínima se procede a rosear la arena mediante un embudo hasta que esta cubra en su totalidad el volumen del molde, luego se enrasa y se determina el peso de la arena. Para el caso de la densidad máxima se procede introduciendo la arena al molde en 5 capas, aplicando una de las capas 50 golpes mediante un compactador mecánico, hasta que esta también cubra en su totalidad el volumen del molde, posteriormente se enrasa y se determina el peso de la arena (Ver Anexo B). Los equipos y herramientas para el desarrollo del ensayo de densidad mínima, se presenta enseguida por la Figura 50.



Figura 50. Molde y embudo para la determinación de la densidad mínima de una arena. (Elaboración propia).

El procedimiento realizado del ensayo de la densidad mínima de una arena, fue el que se exhibe a continuación:

- Primero se tomaron 7.5 kg de material representativo de la muestra a ensayar. Se secó en estufa hasta masa constante, a una temperatura de 105-115 °C.
- Luego se pasó por el tamiz 5.0 mm UNE 7 050 (equivalente al tamiz #4 ASTM) eliminando lo retenido. Enseguida se dividió por cuarteo el material obtenido en dos porciones iguales.
- Se taró y anotó la masa M_1 del molde expresada en gr, con una precisión de 0.01 gr.
- Después se colocó el dedo en la parte inferior del embudo y se llenó con material de la primera porción separada hasta AA' (Ver Figura 16) evitando la segregación durante todo este proceso.
- Se situó el embudo centrado en el interior del molde cilíndrico de modo que el dedo toque el fondo de este.
- Seguidamente se quitó el dedo y, manteniendo el embudo en el eje del molde, se elevó lentamente a medida que caiga libremente la arena, de modo que la altura de caída sea la menor posible, y prácticamente constante durante el proceso de llenado del molde (Ver Figura 51).



Figura 51. Ejecución del ensayo de la densidad mínima de una arena. (Elaboración propia).

- Cuando se haya formado un cono de arena de base igual a la boca del molde, se separó el embudo con rapidez.

- A continuación, se enrasó la arena con la boca del molde. Esta operación debe realizarse por etapas, de modo que se vayan tomando sucesivos troncos de cono de bases paralelas. Debe extremarse el cuidado para no compactar la arena; para ello, debe evitarse cualquier golpe o vibración sobre el recipiente durante el enrase.

- Asimismo, se determinó la masa del molde lleno, M_2 , expresada en gr con una precisión de 0.01 gr.

- Se repitió el ensayo con otra porción de muestra previamente separada.

- Por último, se calculó el volumen V del molde, expresándolo en cm^3 .

Referente a la metodología de cálculo, se procedió a determinar la densidad mínima por medio de la Ecuación 28. Y en cuanto se refiere a la presentación de resultados, es posible apreciarlo gráficamente por la Figura 59, o también por medio de tablas en el Anexo F.

Para el caso de la densidad máxima, los equipos y herramientas para el desarrollo del presente ensayo, se presenta por la Figura 52.



Figura 52. Molde y compactador mecánico para la determinación de la densidad máxima de una arena por el método de apisonado. (Elaboración propia).

El procedimiento desarrollado para el ensayo de la densidad máxima de una arena, fue el que se muestra enseguida:

- En comienzo se tomó 7.5 kg de material representativo de la muestra a ensayar. Se secó en estufa hasta masa constante, a una temperatura de 105-115 °C.

- Luego se dividió por cuarteo el material obtenido en tres porciones iguales.

- Se taró y anotó la masa M_1 del molde con la base y sin el collar superior, expresada en gr con una precisión de 0.01 gr.

- Seguidamente se tomó una de las porciones obtenidas y se homogenizó a mano.

- Después se compactó la muestra en el molde con el collar en cinco capas aproximadamente iguales, aplicando a cada una de las capas 50 golpes de la maza desde la altura ya indicada. La última tongada compactada entrará unos 10 mm en el collar (Ver Nota y Figura 53).

Nota: Durante la compactación se colocó el molde sobre una base sólida o bancada de hormigón/concreto cuya masa no sea inferior a 90 kg para que no amortigüe los golpes.



Figura 53. Ejecución del ensayo de la densidad máxima de una arena por el método de apisonado. (Elaboración propia).

- Una vez llenado y compactado el material en el molde, se quitó el collar y se enrasó cuidadosamente.

- Se determinó y anotó la masa M_2 del conjunto correspondiente al molde más el suelo, expresándola en gr con una precisión de 0.01 gr.

- Asimismo, se repitió la operación con otra porción de suelo preparada previamente.

- Finalmente se calculó el volumen V del molde expresándolo en cm^3 .

En lo que concierne a la metodología de cálculo, se calculó la densidad máxima a través de la Ecuación 29. Y en cuanto referente a la presentación de resultados, se puede apreciar gráficamente por la Figura 60, o también por medio de tablas en el Anexo F.

3.8.1.4. Ensayo de Gravedad Específica

Continuando con la realización de los ensayos de mecánica de suelos, se prosiguió con el desarrollo del ensayo de gravedad específica, la cual se define como la relación que existe de un volumen determinado de suelo pesado al aire, al peso en el aire de un volumen igual al del suelo en cuestión de agua destilada a una temperatura de 4°C (Ver Anexo C).

Los equipos y herramientas para la realización del ensayo de gravedad específica, se muestra a continuación por la Figura 54.



Figura 54. Bomba de vacíos, picnómetro, embudo y termómetro para la determinación de la gravedad específica de un suelo. (Elaboración propia).

El procedimiento ejecutado del ensayo de gravedad específica, fue el que se presenta enseguida:

- En primer lugar, la muestra se tamizó por el tamiz #4, y del material que pasa dicha muestra se pesó una cantidad necesaria seca (60 gr.), la cual se escogió de acuerdo con la capacidad del picnómetro, en este caso de 250 cm³.
- Luego se colocó dicha muestra dentro del picnómetro y se agregó agua destilada.
- Se eliminó el aire atrapado en la muestra mediante la bomba de vacíos durante 15 min.

- Una vez eliminado el aire atrapado se añadió agua destilada hasta que el borde inferior del menisco coincida con la marca de aforo.

- Se verificó si el menisco está bien enrasado y que exteriormente el picnómetro se encontraba totalmente seco y limpio. Y luego se pesó el picnómetro, agua y el suelo contenido. Con una aproximación de 0.1 gr, y a la vez se obtuvo la temperatura de la suspensión (Ver Figura 55).



Figura 55. Ejecución del ensayo de gravedad específica de un suelo. (Elaboración propia).

- Después se retiró el agua y el suelo hacia una bandeja limpia sin perder muestra.
- Se dejó secar la muestra en el horno por un tiempo de 24 horas y a una temperatura de 110 °C.
- Una vez de secar la muestra se determinó el peso seco del suelo con una aproximación de 0.1 gr.
- Al final se registró todos los datos en la correspondiente hoja de trabajo.

Para la metodología de cálculo, se procedió a determinar la gravedad específica de acuerdo a la Ecuación 11. Y en cuanto se refiere a la presentación de resultados, es posible verlo mediante la Tabla 15.

3.8.1.5. Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante

Finalmente se realizó el ensayo de permeabilidad de carga constante, el cual consiste en que el suministro de agua se ajusta de tal manera que la diferencia de la carga entre la entrada y la salida se mantiene constante durante el periodo de prueba. Después que se estableció una velocidad de flujo constante, el agua se colecta en un matraz graduado para una duración conocida (Ver Figura 21 y Anexo D).

Los equipos y herramientas para la ejecución del ensayo de permeabilidad de carga constante, se presenta enseguida por la Figura 56.



Figura 56. Permeámetro, piedras porosas y probeta para la determinación de la permeabilidad de carga constante de una arena. (Elaboración propia).

El procedimiento realizado del ensayo de permeabilidad de carga constante, fue el que se muestra a continuación:

- Al principio se colocó la piedra porosa inferior y se compactó la muestra en el permeámetro de acuerdo a la densidad natural que se ha obtenido (este valor fue asumido, el mismo que está sustentado en el siguiente capítulo), colocando los papeles filtro a cada extremo de la muestra, seguido de la piedra porosa superior.
- Seguidamente se saturó el suelo hasta que no se logre visualizar burbujas de aire.
- Se fijó el nivel de agua a una altura de dos veces la altura de la muestra, y se mantuvo ese nivel a lo largo de toda la prueba.
- Luego se procedió a hacer las mediciones del volumen, al poner una probeta de 500 cm³ o ml, en la salida para determinado tiempo (Ver Figura 57).



Figura 57. Ejecución del ensayo de permeabilidad de carga constante de una arena. (Elaboración propia).

- Se anotó el volumen de agua recogido, expresado en cm^3 , el cual se repitió esta acción tres veces, para haber obtenido un promedio.
- Por último, se midió la carga hidráulica (h), la longitud de la muestra (L) y la temperatura del agua en grados centígrados, con el fin de obtener la relación de viscosidad del agua, que lo da una tabulación.

En lo que respecta a la metodología de cálculo, se pasó a calcular el coeficiente de permeabilidad en base a la Ecuación 51. Y en cuanto se refiere a la presentación de resultados, se logra apreciarlo gráficamente por la Figura 63, o también por medio de tablas en el Anexo F.

De esta forma se desarrolló la ejecución de los ensayos de mecánica de suelos, tanto en laboratorio como en campo, lográndose obtener resultados coherentes a través de los instrumentos de medición, que permitirán a continuación realizar su análisis respectivo para cada variable, tal es el presente caso como del ángulo de fricción y el coeficiente de permeabilidad (variables dependientes), los mismos que son objetos de estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados Obtenidos de los Ensayos en Laboratorio

4.1.1. Resultados del Ensayo de Análisis Granulométrico Inverso

Se han obtenido los porcentajes pasantes de las curvas granulométricas confeccionadas y su clasificación SUCS, porcentajes de suelos, además de los diámetros y parámetros granulométricos de las mismas (Ver Anexo F). En breve se muestra la Figura 58, en donde se puede observar la variación de los parámetros granulométricos respecto a las curvas granulométricas confeccionadas.

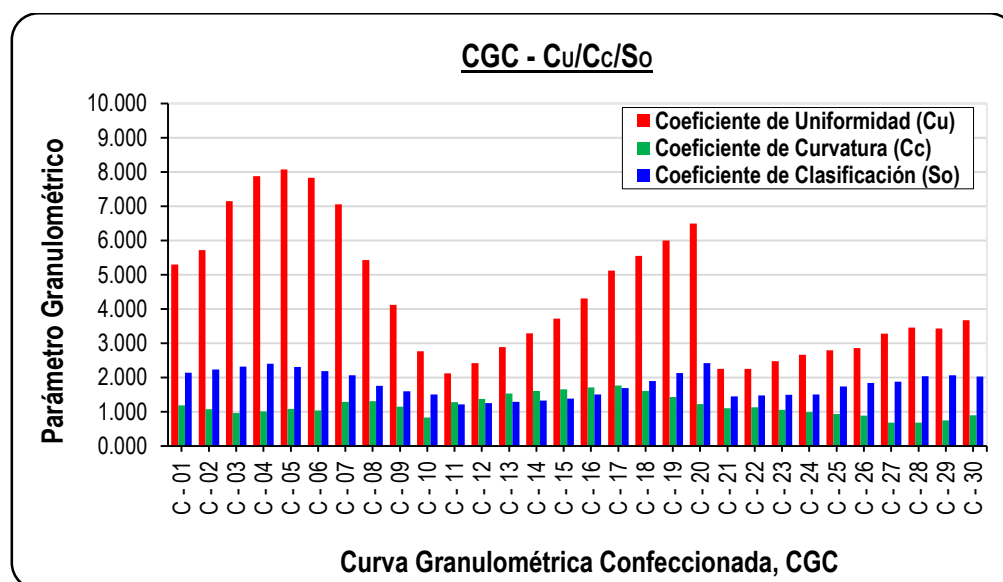


Figura 58. Resultados obtenidos de los diámetros y parámetros granulométricos de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

4.1.2. Resultados del Ensayo de la Densidad Mínima y Máxima

De acuerdo a las Figuras 59 y 60, denotan la variación de la densidad mínima y máxima en relación a las curvas granulométricas confeccionadas, ensayadas con muestras de arena, extraídas de la cantera Maravillas, Unocolla e Isla.

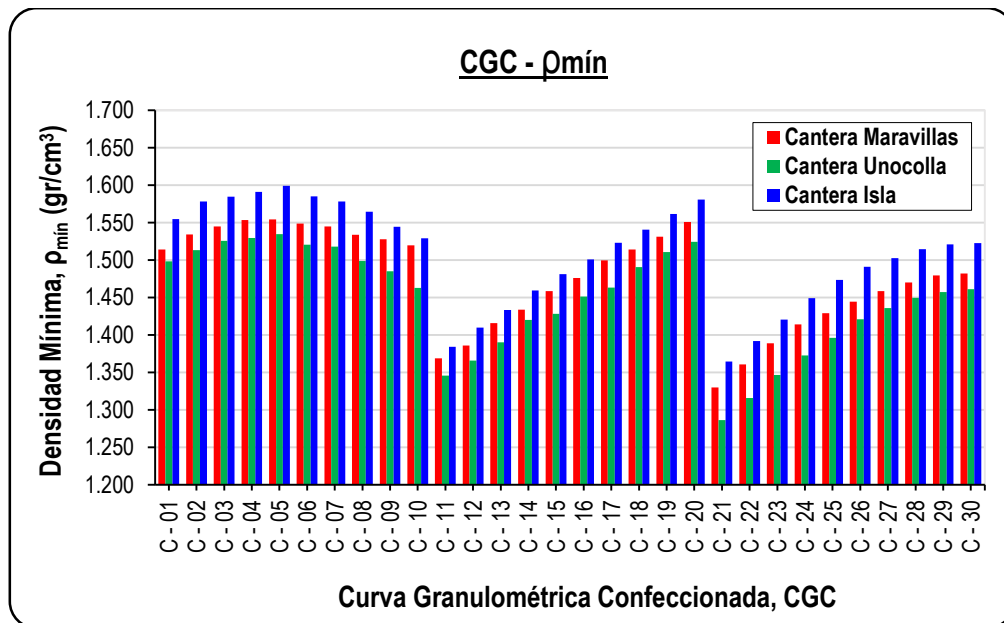


Figura 59. Resultados obtenidos de las densidades mínimas de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

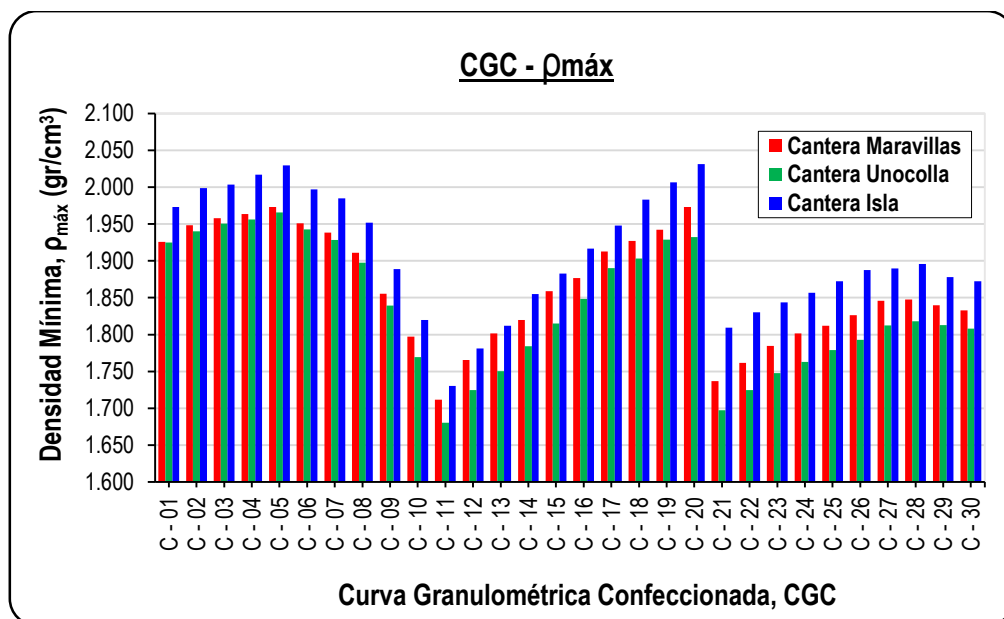


Figura 60. Resultados obtenidos de las densidades máximas de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Asimismo, es posible apreciar en el Anexo F, los resultados obtenidos de las densidades mínimas y máximas de las curvas granulométricas confeccionadas, dividida por cantera, y a la vez por su textura de curva granulométrica (textura abierta, textura media y textura cerrada).

4.1.3. Resultados del Ensayo de la Gravedad Específica

Ha sido posible determinar la gravedad específica de la cantera Maravillas, Unocolla e Isla, tal como se exhibe en la Tabla 15, donde se presenta los resultados obtenidos, a continuación.

Tabla 15.
*Resultados obtenidos de la gravedad específica
por cantera*

CANTERA	GRAVEDAD ESPECÍFICA			
	G _{S-1}	G _{S-2}	G _{S-3}	G _{S-Promedio}
MARAVILLAS	2.649	2.643	2.631	2.641
UNOCOLLA	2.632	2.621	2.646	2.633
ISLA	2.661	2.652	2.682	2.665

Nota: G_{S-1}, G_{S-2}, y G_{S-3} = Prueba 1, 2 y 3, respectivamente;
G_{S-Promedio}= Gravedad específica promedio. (Elaboración propia).

Es oportuno señalar en este ítem, que se realizó tres veces el ensayo de gravedad específica de 03 curvas granulométricas confeccionadas (01 de textura abierta, 01 de textura media y 01 de textura cerrada) por cantera. En ese sentido no se vio necesario ensayar las 30 curvas granulométricas confeccionadas para cada cantera, ya que la gravedad específica será igual o en todo caso estará muy aproximada al de las demás curvas de estudio, a pesar de que la muestra de arena presente diferente gradación o textura de curva granulométrica, por el simple hecho de que la gravedad específica es la relación entre la densidad del sólido y la densidad del agua.

4.1.4. Resultados de la Relación de Vacíos Mínimo y Máximo

Se ha logrado también obtener la relación de vacíos mínimo y máximo de las curvas granulométricas confeccionadas, ensayadas con muestras de arena, extraídas de la cantera Maravillas, Unocolla e Isla. Igualmente se puede ver en el Anexo F, los resultados obtenidos de la relación de vacíos mínimo y máximo de las curvas granulométricas confeccionadas, dividida por cantera, y a la vez por su textura de curva granulométrica (textura abierta, textura media y textura cerrada).

En las Figuras 61 y 62 mostradas posteriormente, se observa la variación de la relación de vacíos mínimo y máximo respecto a las curvas granulométricas confeccionadas.

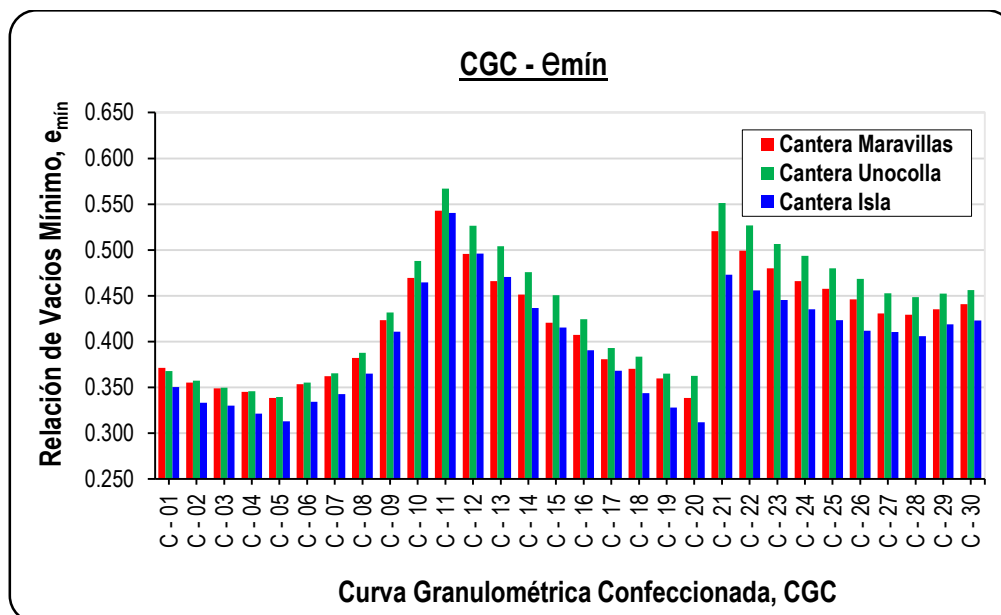


Figura 61. Resultados obtenidos de la relación de vacíos mínimo de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

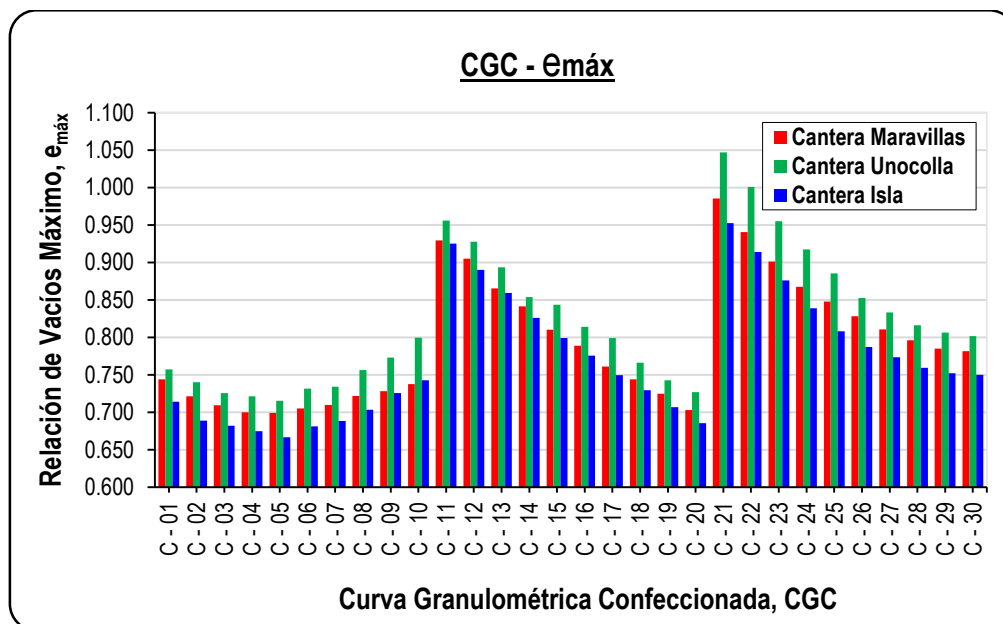


Figura 62. Resultados obtenidos de la relación de vacíos máximo de las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

4.1.5. Resultados del Ensayo de Permeabilidad de Carga Constante

Por último, ha sido posible también determinar el coeficiente de permeabilidad de las curvas granulométricas confeccionadas. Los resultados obtenidos del coeficiente de permeabilidad de las curvas granulométricas confeccionadas, dividida por su textura de curva granulométrica (textura abierta, textura media y textura cerrada), se puede apreciar en el Anexo F. Se presenta enseguida la Figura 63, donde denota la variación del coeficiente de permeabilidad respecto a las curvas granulométricas confeccionadas, ensayadas con muestras de arena, extraída únicamente de la cantera Unocolla.

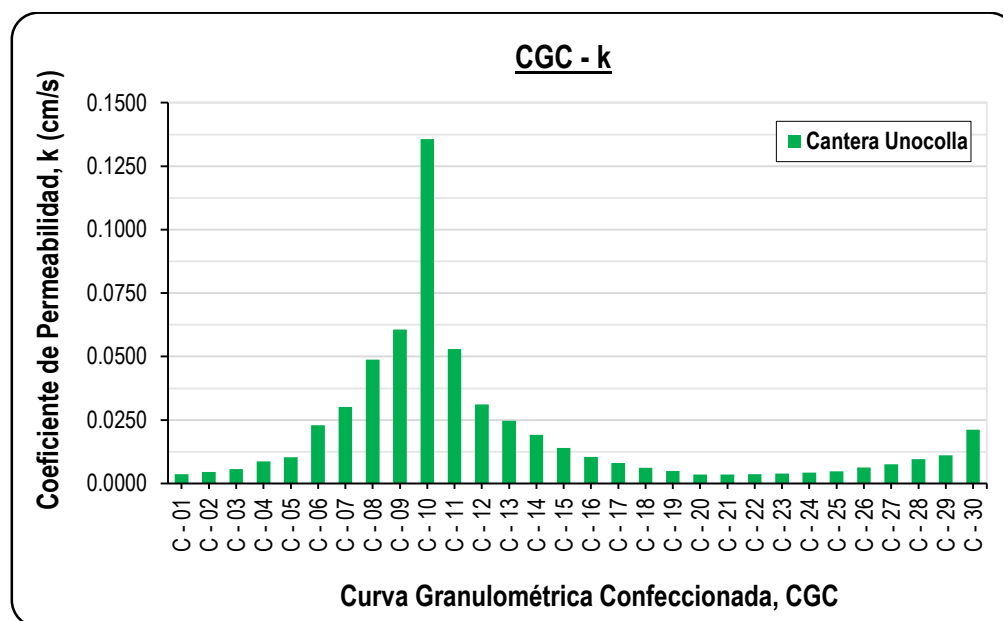


Figura 63. Resultados obtenidos del coeficiente de permeabilidad de las curvas granulométricas confeccionadas en estudio. (Elaboración Propia con Microsoft Excel v.15).

De igual manera se hace oportuno indicar en este ítem, que se realizó el ensayo de permeabilidad de carga constante de 30 curvas granulométricas confeccionadas (10 de textura abierta, 10 de textura media y 10 de textura cerrada), solo de la cantera Unocolla. Dado que no hubo necesidad ensayar las 30 curvas granulométricas confeccionadas para cada cantera, ya que la gravedad específica no es un parámetro influyente en la determinación del coeficiente de permeabilidad, por lo menos si se trabaja con muestras de arena.

Entonces a lo largo del Ítem 4.1, se pudo notar que los resultados obtenidos en laboratorio, varían en relación a las curvas granulométricas confeccionadas de estudio. A continuación, se realiza los análisis de resultados, específicamente de los parámetros

granulométricos (C_u , C_c y S_o), en concordancia a la relación de vacíos mínimo y máximo (para el análisis del ángulo de fricción), y al coeficiente de permeabilidad (para el análisis del mismo nombre).

4.2. Análisis de Resultados para el Ángulo de Fricción

Investigadores como Lambe y Whitman (2004); Rico y Del Castillo (2005) sustentan que existe diversos factores que determinan la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo granular. Los cuales consideran en dos grupos generales. La primera agrupa a aquellos factores que influyen a la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo determinando la compacidad, esfuerzo de confinamiento y la velocidad de carga entre las más importantes. El segundo grupo de factores es el tamaño, la forma, la textura, la distribución granulométrica de las partículas, grado de sanidad y dureza, lo que hace influyente también en la resistencia al esfuerzo cortante. (p. 151; p. 71).

Lo que da a entender es que el ángulo de fricción de un suelo granular, como lo es la arena, depende de varias características físicas para su atinada determinación. Conviene entonces presentar a continuación una serie de gráficos (Ver Ítems 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3), donde se puede observar la relación de las características físicas con respecto a la relación de vacíos mínimo y máximo, donde son valores fundamentales para la determinación del ángulo de fricción.

4.2.1. Relación entre los Parámetros Granulométricos y la Relación de Vacíos Mínimo y Máximo

En las últimas décadas se han venido realizando investigaciones que relacionen a los parámetros granulométricos, tales como el coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_c), (más no con el coeficiente de clasificación (S_o)), con respecto a la relación de vacíos mínimo (e_{min}) y relación de vacíos máximo (e_{max}). Sin embargo, Miura et al. (1997), Gomaa & Abdelrahman (2007) al igual que Riquelme y Dorador (2014) llegaron a la conclusión que el coeficiente de uniformidad es el parámetro granulométrico que presenta una mejor relación con respecto a la relación de vacíos mínimo como también a la relación de vacíos máximo.

La presente tesis no ha sido ajena a los antecedentes antes mencionados, por lo que a continuación se presenta las Figuras 64 y 65, las mismas que muestran la relación del

coeficiente de uniformidad con respecto a la relación de vacíos mínimo y máximo en arenas.

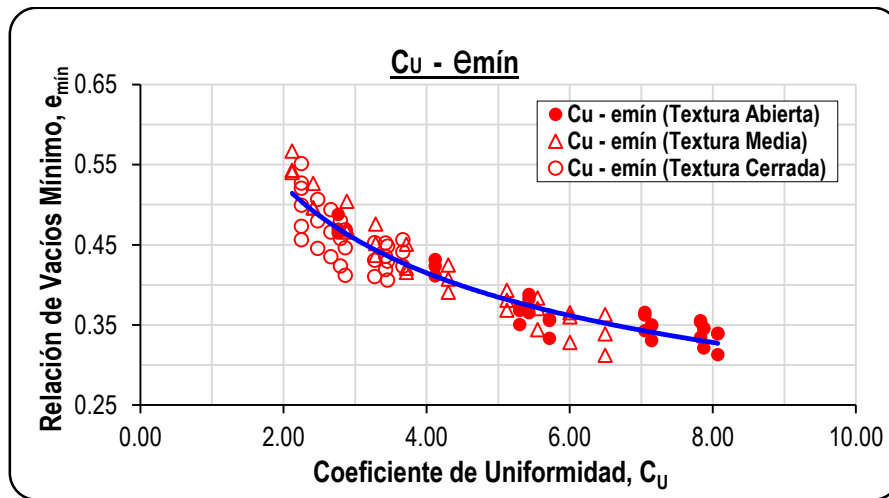


Figura 64. Relación entre el coeficiente de uniformidad y la relación de vacíos mínimo. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

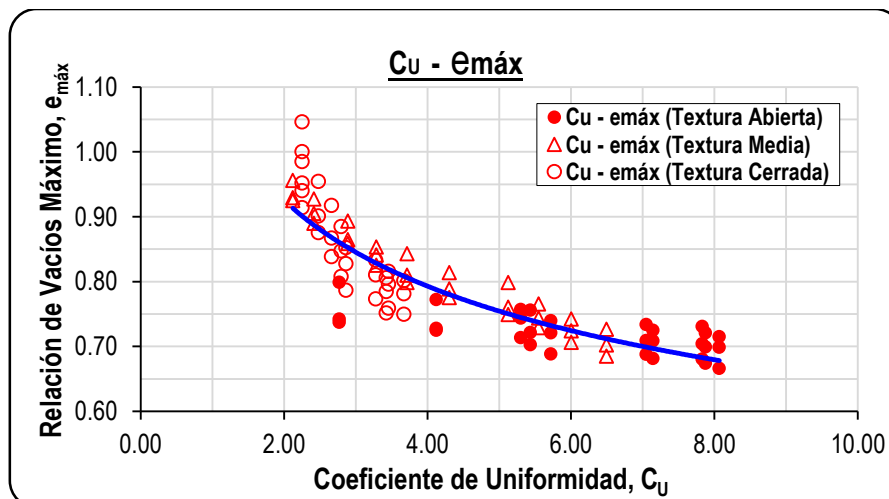


Figura 65. Relación entre el coeficiente de uniformidad y la relación de vacíos máximo. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

En las Figuras 64 y 65 se puede observar que tanto la relación de vacíos mínimo como la relación de vacíos máximo son inversamente proporcionales al coeficiente de uniformidad, lo cual se interpreta que a medida que el suelo tenga una distribución granulométrica más uniforme, este presentará una menor relación de vacíos mínimo y máximo. Demostrándose así una relación directa entre estos parámetros, en donde se puede expresar mediante las Ecuaciones 59 y 60:

$$e_{mín} = f(C_u) \quad (59)$$

$$e_{m\acute{a}x} = f(C_U) \quad (60)$$

Además, al comparar las Figuras 64 y 65, se puede afirmar que la relación $C_U - e_{m\acute{a}x}$ tiene una ligera dispersión en comparación a la relación $C_U - e_{m\acute{i}n}$, por lo que se concluye en esta parte, que el coeficiente de uniformidad presenta una mayor relación con la relación de vacíos mínimo que con la relación de vacíos máximo.

Cabe resaltar que la textura de curva granulométrica (variable interviniente) cumple una función determinante al relacionar el coeficiente de uniformidad con la relación de vacíos mínimo y máximo, ya que si no se considera alguna textura ya sea abierta, media o cerrada, esta relación tendría una pronunciada dispersión.

Por otro lado, se realizó también la relación del coeficiente de curvatura y coeficiente de clasificación con respecto a la relación de vacíos mínimo y máximo, pero como resultado se obtuvo relaciones muy dispersas, una más que otra. Esto se debería a que el coeficiente de curvatura no mide el grado de uniformidad de un suelo, sino mide la curvatura de la curva granulométrica, en cambio el coeficiente de clasificación sí mide el grado de uniformidad, pero lo refleja desde el punto de vista geológico.

4.2.2. Relación entre la Relación de Vacíos Mínimo y la Relación de Vacíos Máximo

En el Ítem 4.2.1, se comprobó que existe una relación directa entre el coeficiente de uniformidad y la relación de vacíos mínimo y máximo, sobre todo en el mínimo. Ahora la relación entre sí de estos parámetros ($e_{m\acute{i}n} - e_{m\acute{a}x}$) también ha sido objeto de estudio por varios autores, solo por nombrar algunos de ellos como a Cubrinovski & Ishihara (2002), Bareither et al. (2008), Riquelme y Dorador (2014), en donde realizaron investigaciones al respecto, deduciendo que tanto la relación de vacíos mínimo como la relación de vacíos máximo dependen uno de otro.

En la Figura 66 presentada enseguida, se muestra el gráfico de la relación entre la relación de vacíos mínimo y la relación de vacíos máximo en arenas.

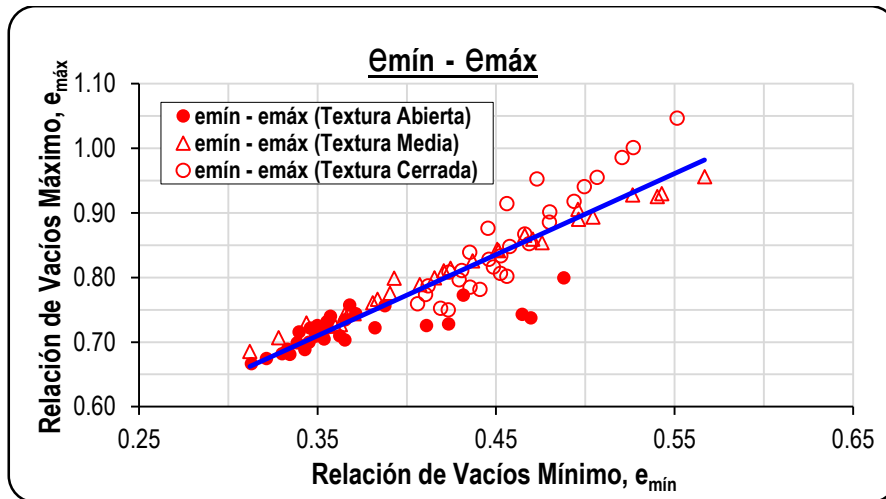


Figura 66. Relación entre la relación de vacíos mínimo y la relación de vacíos máximo. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Se puede notar que la relación de vacíos mínimo es directamente proporcional a la relación de vacíos máximo, esto a causa de tener un comportamiento prácticamente lineal tal como se aprecia en la Figura 66, validándose de esta manera lo investigado por Cubrinovski & Ishihara (2002), Bareither et al. (2008), Riquelme y Dorador (2014), donde concluyeron que tanto la relación de vacíos mínimo como la relación de vacíos máximo dependen entre sí. Esta relación de proporcionalidad es posible expresarlo de la siguiente forma, según la Ecuación 61:

$$e_{máx} = f(e_{mín}) \quad (61)$$

En cuanto se refiere a la relación de vacíos máximo, es posible comparar las Figuras 65 y 66, en donde la relación $C_U - e_{máx}$ tiene una ligera mayor dispersión que la relación $e_{mín} - e_{máx}$, deduciendo que la relación de vacíos máximo presenta una mejor relación con respecto a la relación de vacíos mínimo que con el coeficiente de uniformidad.

Del mismo modo se da énfasis una vez más a la textura de curva granulométrica, al ser un factor influyente para contar con una relación directa entre la relación de vacíos mínimo y la relación de vacíos máximo, dado que, si no es considerada una de las texturas, reducirá el grado de relación ($e_{mín} - e_{máx}$).

4.2.3. Relación entre el Tamaño Medio de Grano y el Rango de Relación de Vacíos

Otro de los parámetros que se ha sido relacionado con la relación de vacíos mínimo y máximo es el tamaño medio de grano (D_{50}), obtenida a través de la curva granulométrica. Miura et al. (1997) y Cubrinovski & Ishihara (2002) desarrollaron estudios sobre la incidencia del tamaño medio de grano en el rango de relación de vacíos, dicho rango es la diferencia entre la relación de vacíos máximo y la relación de vacíos mínimo ($e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}$). Lo cual según los resultados ofrecidos por los autores anteriormente mencionados dan a conocer que existe una muy buena relación entre el tamaño medio del grano y el rango de relación de vacíos, esto aplicado a gravas y arenas. A continuación, se muestra la Figura 67, denominada relación entre el tamaño medio de grano y el rango de la relación de vacíos, teniendo en consideración que esto ha sido realizado en base a puras muestras de arena.

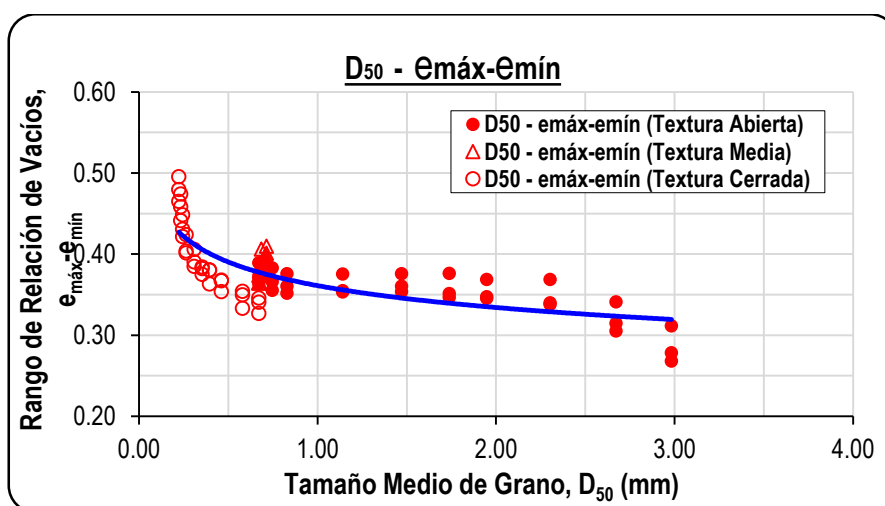


Figura 67. Relación entre el tamaño medio de grano y el rango de la relación de vacíos. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

La Figura 67, denota un gráfico disperso, mostrando que existe poca o ninguna relación entre el tamaño medio de grano y el rango de la relación de vacíos, sin embargo si se aprecia detenidamente la mencionada figura, se puede afirmar que sí habría relación entre estos parámetros tal como lo sustenta Miura et al. (1997), como también Cubrinovski & Ishihara (2002), pero esta relación se daría solo para arenas que presenten curvas granulométricas de textura cerrada, ya que a comparación de la textura abierta y media, esta presenta una mejor tendencia entre sus puntos. Por lo tanto, el tamaño medio de grano no es un parámetro incidente con respecto al rango de la relación de vacíos, siempre y cuando se considere los tres tipos de texturas.

En síntesis, como se ha podido observar a lo largo del Ítem 4.2, la relación de vacíos mínimo y máximo ostentan una relación directa con respecto al coeficiente de uniformidad, en especial con la relación de vacíos mínimo. De igual modo estos parámetros (e_{\min} y e_{\max}) demuestran una tendencial lineal entre sí, haciéndolos dependientes entre uno y otro. Por otra parte, el tamaño medio de grano, no ha sido aquel parámetro en donde tenga reciprocidad con respecto al rango de la relación de vacíos, teniendo en consideración todas las texturas de la curva granulométrica.

4.3. Análisis de Resultados para el Coeficiente de Permeabilidad

Bowles (1981) afirma que el coeficiente de permeabilidad de una masa de suelo homogénea e isotrópica depende principalmente de los siguientes factores: la viscosidad del fluido en los poros (normalmente agua), la relación de vacíos del suelo, el tamaño y forma de los granos del suelo y el grado de saturación. (pp. 99-100). Además, Rico y Del Castillo (2005) refuerzan lo indicado por Bowles (1981), al declarar que la permeabilidad de los suelos está influida por las siguientes características de los mismos: la relación de vacíos, el tamaño de sus partículas, la composición mineralógica y físico-química del suelo, la estructura, el grado de saturación y la existencia de agujeros, fisuras, etc. (p. 33).

Lo mencionado anteriormente, lleva a la conclusión que el coeficiente de permeabilidad de un suelo granular, la arena por ejemplo, depende de diversas características físicas para su acertada determinación. En ese sentido se presenta a continuación una serie de gráficos (Ítems 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4), en donde se da a conocer las relaciones existentes entre las características físicas con respecto al coeficiente de permeabilidad.

4.3.1. Relación entre los Parámetros Granulométricos y el Coeficiente de Permeabilidad

No solo se realizaron investigaciones que relacionen a los parámetros granulométricos con respecto a la relación de vacíos mínimo y máximo (Ítem 4.2.1), sino que también se hizo lo propio con el coeficiente de permeabilidad (k). Algunos investigadores como Amer & Awad (1974), y Onur (2014) adoptaron al coeficiente de uniformidad, como uno de los parámetros más influentes en la determinación del coeficiente de permeabilidad, en donde dedujeron que la permeabilidad de un suelo

granular depende además de otros factores, tales como el diámetro efectivo (D_{10}) y la relación de vacíos (e).

El presente trabajo de investigación a nivel de tesis, ha tomado en consideración los antecedentes anteriormente dados, por lo que enseguida se muestra la Figura 68, la misma que presenta la relación entre el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de permeabilidad en arenas.

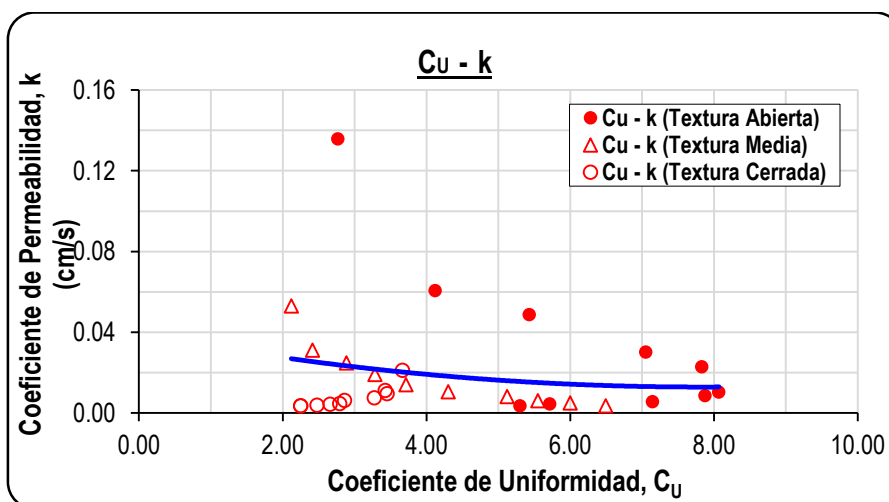


Figura 68. Relación entre el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Se puede observar en la Figura 68, que al relacionar el coeficiente de uniformidad con el coeficiente de permeabilidad, presentan un gráfico notoriamente disperso, demostrando que existe poca relación entre estos parámetros. Aprobando de esta manera lo dicho por Amer & Amad (1974), y Onur (2014), al poner en conocimiento que la permeabilidad de un suelo granular no solo depende del coeficiente de uniformidad sino también de otros factores (D_{10} y e).

En cuanto se refiere a la textura de curva granulométrica (variable interviniente), no es influyente en este caso; sin embargo, si se analiza solo por su textura, se concluye que las curvas granulométricas con textura abierta permanecen con la dispersión, con textura media exhiben una relación inversamente proporcional y con una textura cerrada ostentan una relación proporcionalmente directa, todo ello de acuerdo a la Figura 68. Por lo que la textura de curva granulométrica es influyente siempre y cuando es analizado por separado y no en conjunto.

Se realizó del mismo modo la relación del coeficiente de curvatura y coeficiente de clasificación con respecto al coeficiente de permeabilidad, donde se obtuvo resultados de relaciones muy dispersas, incluso aún más dispersa que la relación $C_u - k$. Lo que da a entender es que estos parámetros tienen otra aplicación específica, tal como se mencionó en el Ítem 4.2.1, por lo que no son suficientes para guardar relación con el coeficiente de permeabilidad en suelos granulares, específicamente en arenas.

4.3.2. Relación entre el Diámetro Efectivo y el Coeficiente de Permeabilidad

El diámetro efectivo (D_{10}) ha sido sin duda el parámetro más importante e influyente en la determinación indirecta del coeficiente de permeabilidad. Hazen (1892) ha sido el primero en sustentar que la permeabilidad de un suelo granular es posible calcularlo a través del diámetro efectivo, denominado así por el mismo autor. Desde entonces varios investigadores y organizaciones desarrollaron estudios al respecto, como Amer & Awad (1974), Chapuis (2004) y Onur (2014) donde como producto de sus investigaciones propusieron correlaciones (Ver Tabla 12), representados por ecuaciones matemáticas o de regresión para la estimación del coeficiente de permeabilidad, esto en función a las características físicas de las arenas, y dentro de ellas considerado el diámetro efectivo.

La Figura 69 muestra el gráfico de la relación entre el diámetro efectivo y el coeficiente de permeabilidad aplicado en arenas, tal como se presenta a continuación:

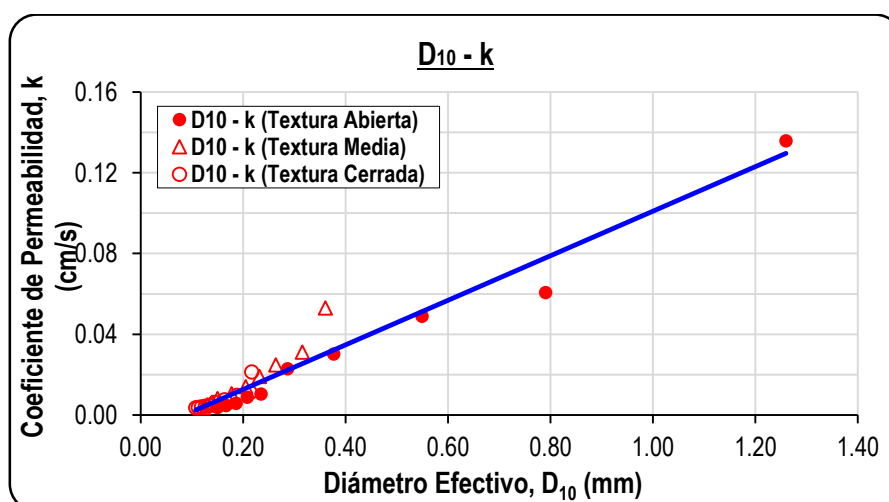


Figura 69. Relación entre el diámetro efectivo y el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Se consigue notar que el diámetro efectivo es directamente proporcional al coeficiente de permeabilidad, lo que quiere decir que a medida que haya un incremento del diámetro efectivo, incrementa también el coeficiente de permeabilidad, esto a razón de tener un comportamiento lineal casi perfecto tal como se distingue en la Figura 69, al demostrar lo influyente que es el diámetro efectivo en la permeabilidad de arenas, validándose de esta manera lo estudiado por Hazen en el año 1892.

Cabe subrayar que tanto la permeabilidad de un suelo granular como el diámetro efectivo del mismo, expresan una relación considerable entre sí, a causa del tamaño de las partículas de arena, ya que en muchos casos pueden presentar una proporción pequeña (arenas finas), y a pesar de ello logran una proporción de huecos elevada, por lo que el diámetro efectivo tiene incidencia, el que es definido como el diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 10% del suelo en peso. A su vez la relación $D_{10} - k$ puede ser expresado de la siguiente forma (Ver Ecuación 62):

$$k = f(D_{10}) \quad (62)$$

En este ítem también se reconoce a la textura de curva granulométrica, al ser un factor influyente para expresar una relación directa entre el diámetro efectivo y el coeficiente de permeabilidad, siendo la textura abierta la que mayor rango de permeabilidad presenta.

4.3.3. Relación entre el Tamaño Medio de Grano y el Coeficiente de Permeabilidad

El diámetro efectivo no es el único parámetro que se ha relacionado con el coeficiente de permeabilidad, sino que también el tamaño medio de grano (D_{50}) ha sido abordado ampliamente en relación a la permeabilidad de un suelo granular. Alyamani & Sen (1993) realizaron investigaciones sobre la influencia del tamaño medio de grano en la permeabilidad de arenas gruesas, medias y finas, deduciendo que dicho diámetro es un factor determinante en la estimación de la permeabilidad.

Se hace recuerdo que tanto el diámetro efectivo como el tamaño medio de grano, pueden ser determinados a partir de la curva granulométrica, siempre y cuando se traten de suelos granulares tales como las gravas y arenas.

A continuación, se presenta la Figura 70 designada como la relación entre el tamaño medio de grano y el coeficiente de permeabilidad, esto realizado en base a muestras de arena.

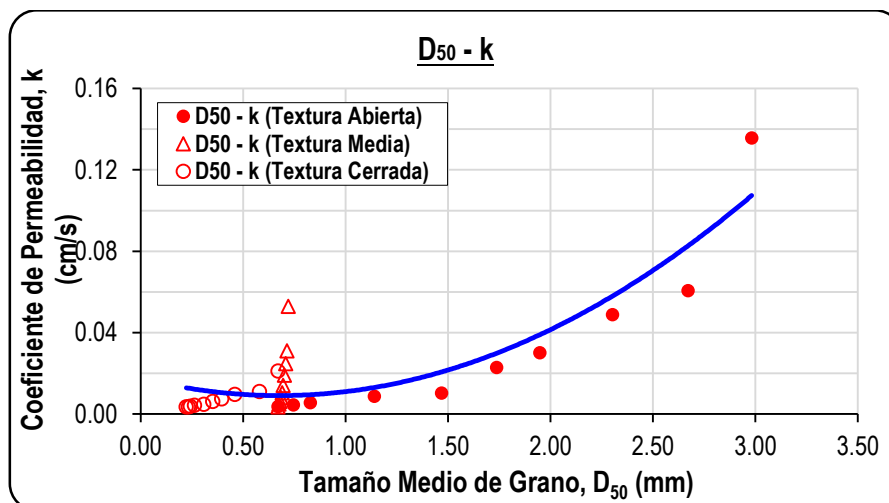


Figura 70. Relación entre el tamaño medio de grano y el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Según la Figura 70, exhibe un gráfico relativamente disperso, y de esta manera muestra la poca existencia de relación entre el tamaño medio de grano y el coeficiente de permeabilidad; sin embargo, si solo se consideraría arenas que presenten curvas granulométricas de textura abierta y cerrada, se obtendría una relación directa entre estos parámetros, tal como lo investigaron Alyamani & Sen (1993). Ahora la no incidencia de arenas que presentan curvas granulométricas de textura media se debe a que presentan un rango de tamaño medio de grano bastante reducido (0.670 a 0.720 mm), y a pesar de ello experimentan permeabilidades diferentes.

4.3.4. Relación entre la Relación de Vacíos y el Coeficiente de Permeabilidad

Como se había mencionado en el Ítem 4.3.1, el coeficiente de permeabilidad no solo depende del coeficiente de uniformidad y del diámetro efectivo, sino también de la relación de vacíos. Terzaghi y Peck (1973) declaran: “Cuando un suelo es comprimido o vibrado, el volumen ocupado por sus elementos sólidos permanece prácticamente invariable, mientras que el volumen de los vacíos disminuye. Por lo tanto, la permeabilidad del suelo también disminuye” (p. 49). A partir de la anterior declaración, ingenieros como Amer & Awad (1974), y Chapuis (2004) efectuaron investigaciones al respecto, concluyendo que la permeabilidad de un suelo granular depende de gran manera de la relación de vacíos del

mismo. Enseguida se muestra la Figura 71, la misma que presenta la relación entre la relación de vacíos y el coeficiente de permeabilidad en arenas.

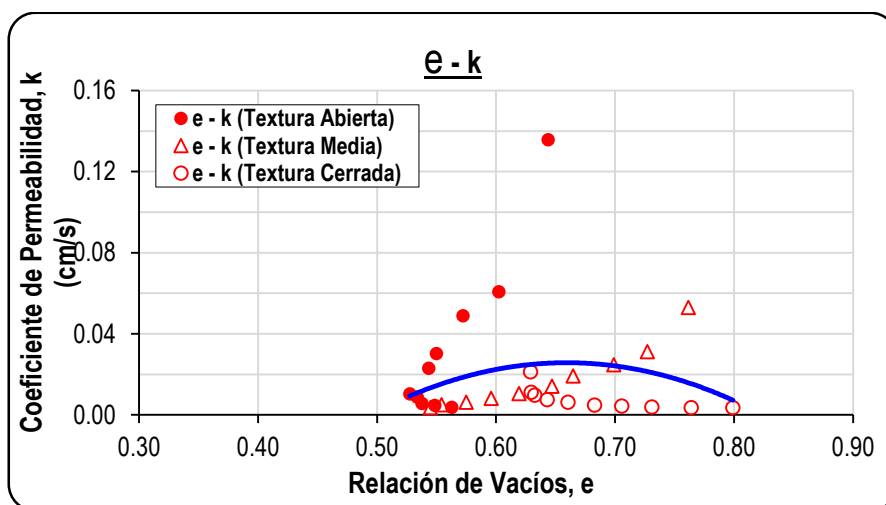


Figura 71. Relación entre la relación de vacíos y el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

La Figura 71, presenta un gráfico disperso entre sus puntos, demostrando así que existe poca relación entre la relación de vacíos y el coeficiente de permeabilidad, pero si se observa minuciosamente dicha figura, es posible mencionar que sí existe relación, esto siempre y cuando se tenga en consideración un análisis por separado. Por ejemplo, las arenas que presentan curvas granulométricas de textura abierta mantienen la dispersión, de textura media ostentan una relación directamente proporcional y de textura cerrada presentan una relación inversamente proporcional. Sin embargo, la única textura que obedece lo declarado por Terzaghi y Peck (1973) es la textura media, dado que si la relación de vacíos disminuye, el coeficiente de permeabilidad también lo hará.

En conclusión, como se ha podido sustentar a lo largo del Ítem 4.3, el coeficiente de permeabilidad muestra una relación directa con respecto al diámetro efectivo. Pero en cuanto se refiere al coeficiente de uniformidad, al tamaño medio de grano y a la relación de vacíos, estos no han sido parámetros determinantes para tener alguna relación con la permeabilidad de una arena, no obstante si estos (C_u , D_{50} y e) son analizados por la textura de curva granulométrica por separado, entonces en ese caso sí habría relación entre uno y otro parámetro.

4.4. Correlación y Regresión de Resultados para determinar el Ángulo de Fricción

De acuerdo al primer objetivo específico de la presente tesis, se quiere obtener una ecuación de regresión para la determinación del ángulo de fricción en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado, esto mediante un análisis correlacional. Por lo que a continuación se presenta la correlación y regresión para la determinación de la relación de vacíos mínimo y máximo (Ver Ítem 4.4.1 y 4.4.2 respectivamente), los cuales son parámetros fundamentales en la determinación del ángulo de fricción.

4.4.1. Correlación y Regresión para la Relación de Vacíos Mínimo

Según lo desarrollado específicamente en el Ítem 4.2.1, se ha llegado a la conclusión que la relación de vacíos mínimo ostenta una relación directa con el coeficiente de uniformidad (Figura 64), ya que este presenta una menor dispersión y una mejor tendencia entre sus puntos, convirtiéndolo de esta manera en una característica física influyente en la determinación de la relación de vacíos mínimo. Ahora para poder establecer que tanta relación existe entre una y otra variable, es posible determinarlo mediante la teoría de correlación. Spiegel y Stephens (2009) mencionan que la correlación o grado de relación entre las variables, busca determinar qué tan bien explica la relación de las mismas, a través de una correlación lineal, o de otro tipo. (p. 345).

Para definir el tipo de correlación para la relación entre variables que se esté analizando, se hace útil emplear el programa de hojas de cálculo Microsoft Excel, el cual permite probar diversas líneas de tendencia, ya sean de tipo exponencial, lineal, logarítmica, polinómica y potencial, para que de esta manera se obtenga el coeficiente de determinación (r^2) para cada tipo de correlación. A continuación, en la Tabla 16, se presenta las correlaciones entre las variables C_U y e_{min} , teniendo en consideración que los resultados fueron obtenidos de acuerdo al programa Microsoft Excel de la versión 15.0 del año 2013.

Tabla 16.
*Correlaciones entre las variables C_U
y e_{min}*

Tipo de Correlación	Coefficiente de Determinación (r^2)
Exponencial	.8427
Lineal	.8130

(continúa)

Tipo de Correlación	Coefficiente de Determinación (r^2)
Logarítmica	.8748
Polinómica	.8858
Potencial	.8897

Nota: (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

El coeficiente de determinación es una medida de la calidad del ajuste de la correlación que se está probando. La confiabilidad de r^2 depende del tamaño del conjunto de los datos de la regresión y del tipo de aplicación. Resulta claro que $0 \leq r^2 \leq 1$, y el límite superior se logra cuando el ajuste a los datos es perfecto (...). (Walpole, Myers R. & Myers S., 2012, pp. 407-408).

Entonces de acuerdo a la Tabla 16, se elige el tipo de correlación que presente un coeficiente de determinación igual a 1 (en el mejor de los casos), caso contrario se elige el más próximo a 1, puesto que es la correlación que mejor se ajusta a la relación entre las variables que se analiza. En consecuencia, para la relación entre las variables C_U y e_{\min} , la correlación potencial es la que tiene un mejor ajuste, al presentar un $r^2 = .8897$, ubicándose dentro del rango de $0 \leq r^2 \leq 1$, asimismo de ser el más próximo a la unidad respecto a los demás tipos de correlación que poseen coeficientes de determinación inferiores a .8897.

De esta manera la Figura 72, muestra el ajuste para una correlación potencial entre las variables C_U y e_{\min} , donde la variable independiente (X) representada por el coeficiente de uniformidad es graficado en el eje de las abscisas, y la variable dependiente (Y) representada por la relación de vacíos mínimo en el eje de las ordenadas.

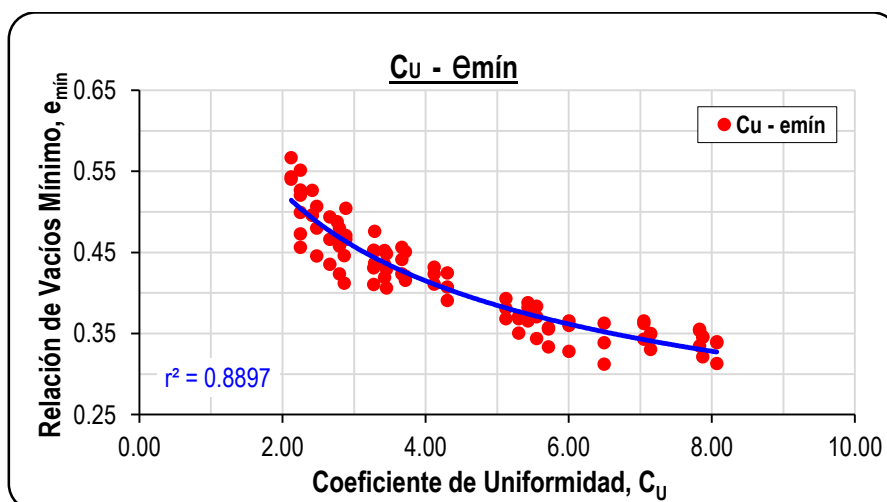


Figura 72. Ajuste para una correlación potencial entre las variables C_U y e_{\min} . (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Se consigue distinguir además en la Figura 72, que la variable dependiente Y (e_{\min}) tiende a disminuir a medida que la variable independiente X (C_U) aumenta, entonces se trataría de una correlación negativa o inversa. (Spiegel y Stephens, 2009, p. 345).

Una vez elegido el tipo de correlación mediante el coeficiente de determinación del mismo, se procede a definir la ecuación de regresión de acuerdo a la correlación que se haya establecido. Por lo tanto, como la correlación potencial fue la que experimentó un mejor ajuste para la relación entre las variables C_U y e_{\min} , es así que Suárez y Tapia (2012) dan a conocer que para una correlación potencial, su ecuación de regresión tiene la siguiente forma, según la Ecuación 63: (p. 205).

$$Y = aX^b \quad (63)$$

Donde:

Y = Variable dependiente que representa a la relación de vacíos mínimo.

X = Variable independiente que representa al coeficiente de uniformidad.

a y b = Coeficientes de la regresión potencial.

Para determinar los coeficientes a y b , los cuales son necesarios para definir una ecuación de regresión, primero dicha regresión tiene que tener una forma lineal para poder aplicar el método de la Recta de Mínimos Cuadrados, y de esta manera determinar los coeficientes de regresión. Walpole et al. (2012) destacan que el método indicado tiene como finalidad ajustar una recta de regresión estimada a los datos, lo cual equivale a determinar los estimadores o coeficientes a y b . Por supuesto, esto permite el cálculo de los valores pronosticados a partir de la recta ajustada $Y = a + bX$ y otros tipos de análisis y de información diagnóstica que determinarán la fuerza de la relación, así como la adecuación y el ajuste del modelo. (pp. 394-395).

Para el caso de la relación entre las variables C_U y e_{\min} , es necesario expresarlo de una forma lineal igual a: $Y = a + bX$, ya que esta relación tiene la forma de una regresión potencial. Suárez y Tapia (2012) deducen que si la ecuación de regresión está dada por: $Y = aX^b$, entonces se toma logaritmos en ambos miembros, quedando tal como se aprecia en la Ecuación 64, a la vez esta puede expresarse de la forma que lo muestra la Ecuación 65: (p. 205).

$$\log(Y) = \log(a) + b * \log(X) \quad (64)$$

$$Y' = a' + bX' \quad (65)$$

Donde:

Y' = Logaritmo de la variable dependiente Y (e_{\min}).

X' = Logaritmo de la variable independiente X (C_U).

a' = Logaritmo del coeficiente de regresión " a ".

b = Coeficiente de regresión " b ".

Se hace uso de la Ecuación 66, para determinar b , y la Ecuación 67, para determinar a' , las mismas que son presentadas a continuación: (Spiegel, Schiller & Srinivasan, 2010, p. 267).

$$b = \frac{n \sum X'Y' - (\sum X')(\sum Y')}{n \sum X'^2 - (\sum X')^2} \quad (66)$$

$$a' = \bar{Y}' - b\bar{X}' \quad (67)$$

Donde: " n " es la muestra de estudio ($n= 90$), además \bar{Y}' y \bar{X}' son los promedios de los logaritmos de la variable dependiente Y (e_{\min}) y la variable independiente X (C_U) respectivamente. Enseguida se muestra los datos estadísticos para la correlación y regresión entre las variables C_U y e_{\min} , presentados por la Tabla 17.

Tabla 17.

Datos estadísticos para la correlación y regresión entre C_U y e_{\min}

n	X	Y	X'	Y'	X'Y'	(X') ²	(Y') ²
1	5.300	0.371	0.724	-0.430	-0.312	0.525	0.185
2	5.718	0.355	0.757	-0.449	-0.340	0.573	0.202
3	7.144	0.349	0.854	-0.457	-0.390	0.729	0.209
4	7.875	0.345	0.896	-0.462	-0.414	0.803	0.213
5	8.069	0.339	0.907	-0.470	-0.426	0.822	0.221
6	7.830	0.354	0.894	-0.451	-0.403	0.799	0.204
7	7.050	0.362	0.848	-0.441	-0.374	0.719	0.194
8	5.433	0.382	0.735	-0.418	-0.307	0.540	0.175
9	4.121	0.423	0.615	-0.373	-0.230	0.378	0.139

(continúa)

n	X	Y	X'	Y'	X'Y'	(X') ²	(Y') ²
10	2.766	0.469	0.442	-0.328	-0.145	0.195	0.108
11	2.122	0.543	0.327	-0.265	-0.087	0.107	0.070
12	2.418	0.496	0.383	-0.305	-0.117	0.147	0.093
13	2.888	0.466	0.461	-0.332	-0.153	0.212	0.110
14	3.286	0.451	0.517	-0.345	-0.178	0.267	0.119
15	3.716	0.421	0.570	-0.376	-0.214	0.325	0.141
16	4.306	0.407	0.634	-0.390	-0.247	0.402	0.152
17	5.124	0.381	0.710	-0.419	-0.298	0.504	0.176
18	5.551	0.370	0.744	-0.431	-0.321	0.554	0.186
19	6.003	0.360	0.778	-0.444	-0.345	0.606	0.197
20	6.497	0.339	0.813	-0.470	-0.382	0.661	0.221
21	2.251	0.521	0.352	-0.284	-0.100	0.124	0.080
22	2.252	0.499	0.353	-0.302	-0.106	0.124	0.091
23	2.480	0.480	0.394	-0.319	-0.126	0.156	0.102
24	2.663	0.466	0.425	-0.332	-0.141	0.181	0.110
25	2.794	0.458	0.446	-0.339	-0.151	0.199	0.115
26	2.864	0.446	0.457	-0.351	-0.160	0.209	0.123
27	3.277	0.431	0.516	-0.366	-0.189	0.266	0.134
28	3.455	0.429	0.538	-0.367	-0.198	0.290	0.135
29	3.426	0.435	0.535	-0.361	-0.193	0.286	0.130
30	3.669	0.441	0.565	-0.356	-0.201	0.319	0.126
31	5.300	0.368	0.724	-0.434	-0.314	0.525	0.188
32	5.718	0.357	0.757	-0.447	-0.339	0.573	0.200
33	7.144	0.350	0.854	-0.456	-0.390	0.729	0.208
34	7.875	0.346	0.896	-0.461	-0.413	0.803	0.213
35	8.069	0.340	0.907	-0.469	-0.425	0.822	0.220
36	7.830	0.355	0.894	-0.449	-0.402	0.799	0.202
37	7.050	0.366	0.848	-0.437	-0.371	0.719	0.191
38	5.433	0.388	0.735	-0.411	-0.302	0.540	0.169
39	4.121	0.432	0.615	-0.365	-0.224	0.378	0.133
40	2.766	0.488	0.442	-0.312	-0.138	0.195	0.097
41	2.122	0.567	0.327	-0.247	-0.081	0.107	0.061
42	2.418	0.527	0.383	-0.279	-0.107	0.147	0.078
43	2.888	0.504	0.461	-0.297	-0.137	0.212	0.088
44	3.286	0.476	0.517	-0.323	-0.167	0.267	0.104
45	3.716	0.451	0.570	-0.346	-0.197	0.325	0.120
46	4.306	0.425	0.634	-0.372	-0.236	0.402	0.138
47	5.124	0.393	0.710	-0.406	-0.288	0.504	0.165
48	5.551	0.384	0.744	-0.416	-0.310	0.554	0.173
49	6.003	0.365	0.778	-0.437	-0.340	0.606	0.191
50	6.497	0.363	0.813	-0.440	-0.358	0.661	0.194
51	2.251	0.551	0.352	-0.259	-0.091	0.124	0.067
52	2.252	0.527	0.353	-0.278	-0.098	0.124	0.077
53	2.480	0.507	0.394	-0.295	-0.116	0.156	0.087
54	2.663	0.494	0.425	-0.307	-0.130	0.181	0.094
55	2.794	0.480	0.446	-0.319	-0.142	0.199	0.102
56	2.864	0.469	0.457	-0.329	-0.150	0.209	0.108
57	3.277	0.453	0.516	-0.344	-0.177	0.266	0.118
58	3.455	0.448	0.538	-0.348	-0.188	0.290	0.121
59	3.426	0.452	0.535	-0.344	-0.184	0.286	0.119
60	3.669	0.456	0.565	-0.341	-0.192	0.319	0.116
61	5.300	0.351	0.724	-0.455	-0.330	0.525	0.207
62	5.718	0.333	0.757	-0.477	-0.361	0.573	0.228
63	7.144	0.330	0.854	-0.481	-0.411	0.729	0.232
64	7.875	0.321	0.896	-0.493	-0.442	0.803	0.243
65	8.069	0.313	0.907	-0.504	-0.457	0.822	0.255
66	7.830	0.334	0.894	-0.476	-0.425	0.799	0.226
67	7.050	0.343	0.848	-0.465	-0.394	0.719	0.216

(continúa)

n	X	Y	X'	Y'	X'Y'	(X') ²	(Y') ²
68	5.433	0.365	0.735	-0.437	-0.322	0.540	0.191
69	4.121	0.411	0.615	-0.386	-0.238	0.378	0.149
70	2.766	0.465	0.442	-0.333	-0.147	0.195	0.111
71	2.122	0.540	0.327	-0.267	-0.087	0.107	0.071
72	2.418	0.496	0.383	-0.304	-0.117	0.147	0.093
73	2.888	0.471	0.461	-0.327	-0.151	0.212	0.107
74	3.286	0.437	0.517	-0.360	-0.186	0.267	0.129
75	3.716	0.415	0.570	-0.381	-0.217	0.325	0.146
76	4.306	0.391	0.634	-0.408	-0.259	0.402	0.167
77	5.124	0.368	0.710	-0.434	-0.308	0.504	0.188
78	5.551	0.344	0.744	-0.464	-0.345	0.554	0.215
79	6.003	0.328	0.778	-0.484	-0.377	0.606	0.234
80	6.497	0.312	0.813	-0.506	-0.411	0.661	0.256
81	2.251	0.473	0.352	-0.325	-0.115	0.124	0.106
82	2.252	0.456	0.353	-0.341	-0.120	0.124	0.116
83	2.480	0.445	0.394	-0.351	-0.139	0.156	0.123
84	2.663	0.435	0.425	-0.361	-0.154	0.181	0.131
85	2.794	0.424	0.446	-0.373	-0.167	0.199	0.139
86	2.864	0.412	0.457	-0.385	-0.176	0.209	0.148
87	3.277	0.410	0.516	-0.387	-0.199	0.266	0.150
88	3.455	0.406	0.538	-0.392	-0.211	0.290	0.153
89	3.426	0.419	0.535	-0.378	-0.202	0.286	0.143
90	3.669	0.423	0.565	-0.373	-0.211	0.319	0.139
Σ	397.0	37.64	54.57	-34.51	-21.93	36.06	13.62

Nota: Σ= Sumatoria. (Elaboración propia).

Por consiguiente, reemplazando los datos estadísticos para determinar b y a' en las Ecuaciones 66 y 67, se tiene como resultado las Ecuaciones 68 y 69 correspondientemente, las mismas que establecen la recta de mínimos cuadrados.

$$b = \frac{(90 * -21.936) - (54.571) * (-34.514)}{(90 * 36.066) - (54.571)^2} = -0.339 \quad (68)$$

$$a' = \left(\frac{-34.514}{90} \right) - (-0.339) * \left(\frac{54.571}{90} \right) = -0.178 \quad (69)$$

A partir del resultado de la Ecuación 69 presentada anteriormente (a'= -0.178), es posible determinar el coeficiente de regresión "a", ya que: $\log(a) = a'$, y como logaritmo de un número (el coeficiente "a" en este caso) pasa al otro miembro de la ecuación como antilogaritmo, entonces se tiene: $a = 10^{a'}$. Obteniéndose de esta manera el coeficiente de regresión "a", presentada por la Ecuación 70 siguiente:

$$a = 10^{-0.178} = 0.664 \quad (70)$$

Seguidamente la recta de regresión determinada por el método de mínimos cuadrados es establecida por medio de los coeficientes de regresión a y b, sustituyéndolos a la Ecuación 64 y de esta forma exhibir la Ecuación 71:

$$\log(Y) = \log(0.664) + -0.339 * \log(X) \quad (71)$$

Operando la Ecuación 71, se obtiene la Ecuación 72, la cual que tiene la forma de una regresión potencial, tal como se había elegido por el tipo de correlación (potencial), al experimentar un mejor ajuste para la relación entre las variables C_U y e_{\min} .

$$Y = 0.664X^{-0.339} \quad (72)$$

La Ecuación 72, puede expresarse matemáticamente de distinta forma, dado que la potencia de un número (la variable X para este caso) con exponente negativo es igual al inverso del número elevado a exponente positivo, siempre y cuando: $X \neq 0$. Logrando presentar la Ecuación 73 que tiene la siguiente forma:

$$Y = \frac{0.664}{X^{0.339}} \quad (73)$$

En base a la Ecuación 73 se podrá determinar la relación de vacíos mínimo de arenas a partir del coeficiente de uniformidad obtenida a través del ensayo de granulometría. Dado que la variable dependiente Y está representado por la relación de vacíos mínimo (e_{\min}) y la variable independiente X por el coeficiente de uniformidad (C_U). Lo dicho puede ser expresado mediante la Ecuación 74, donde la relación de vacíos mínimo está en función del coeficiente de uniformidad, $e_{\min} = f(C_U)$.

$$e_{\min} = \frac{0.664}{C_U^{0.339}} \quad (74)$$

Por otra parte, para afirmar que tan bien describe una ecuación de regresión la relación entre dos variables, es posible establecerlo mediante el coeficiente de correlación (r), la cual pertenece a la teoría del mismo nombre. Suárez y Tapia (2012) afirman: Los coeficientes de correlación son medidas que indican la situación relativa de los mismos sucesos respecto a las dos variables, es decir, son la expresión numérica que nos indica

el grado de relación existente entre las dos variables y en qué medida se relacionan. (p. 157).

Además, tales autores mencionan: Son números que varían entre los límites +1 y -1 y que su magnitud indica el grado de asociación entre las variables; el valor $r = 0$ indica que no existe relación entre las variables; los valores ± 1 son indicadores de una correlación perfecta positiva (al crecer o decrecer X, crece o decrece Y) o negativa (al crecer o decrecer X, decrece o crece Y). (Suárez & Tapia, 2012, p. 157).

Para interpretar el coeficiente de correlación se utiliza la siguiente escala mostrada por la Tabla 18, la misma que se presenta enseguida.

Tabla 18.
Escala del coeficiente de correlación (r)

r	Significado
-1.00	Correlación negativa grande y perfecta
-.90 a -.99	Correlación negativa muy alta
-.70 a -.89	Correlación negativa alta
-.40 a -.69	Correlación negativa moderada
-.20 a -.39	Correlación negativa baja
-.01 a -.19	Correlación negativa muy baja
.00	Correlación nula
+.01 a +.19	Correlación positiva muy baja
+.19 a +.39	Correlación positiva baja
+.40 a +.69	Correlación positiva moderada
+.70 a +.89	Correlación positiva alta
+.90 a +.99	Correlación positiva muy alta
+1.00	Correlación positiva grande y perfecta

Nota: Adaptado de “Interaprendizaje de estadística básica”, por Suárez M. O. y Tapia F. A., 2012, p.158.

En cuanto se refiere a la obtención del coeficiente de correlación, es posible determinarlo a través de la Ecuación 75, donde es igual a: (Spiegel et al., 2010, p. 271).

$$r = \frac{n \sum x'y' - (\sum x')(\sum y')}{\sqrt{[n \sum x'^2 - (\sum x')^2][n \sum y'^2 - (\sum y')^2]}} \quad (75)$$

Reemplazando los datos estadísticos de la Tabla 17 en la Ecuación 75, se logra obtener el coeficiente de correlación para la relación entre las variables C_U y e_{\min} .

$$r = \frac{(90 * -21.936) - (54.571) * (-34.514)}{\sqrt{[(90 * 36.066) - (54.571)^2] * [(90 * 13.620) - (-34.514)^2]}} = -.9432 \quad (76)$$

De acuerdo a la Ecuación 76, se presenta un $r = -.9432$ y según la Tabla 18 indica que existe una correlación negativa muy fuerte entre las variables C_U y e_{\min} , ya que cuando la variable independiente X (C_U) crece, la variable dependiente Y (e_{\min}) decrece.

4.4.2. Correlación y Regresión para la Relación de Vacíos Máximo

Según a lo desarrollado específicamente en el Ítem 4.2.2, se ha llegado a la conclusión que la relación de vacíos máximo ostenta una relación directa con la relación de vacíos mínimo (Ver Figura 66), al presentar una menor dispersión y una mejor tendencia entre sus puntos, que a su vez está en función al coeficiente de uniformidad (Ver Ítem 4.4.1), convirtiéndolo así una vez más en una característica física influyente, en este caso para la determinación de la relación de vacíos máximo. Ahora para poder establecer que tanta relación existe entre e_{\min} y e_{\max} , al igual que en el Ítem 4.4.1 es posible determinarlo mediante la teoría de correlación.

En la Tabla 19 presentado a continuación, se muestra las correlaciones entre las variables e_{\min} y e_{\max} , teniendo en cuenta que los resultados fueron obtenidos también de acuerdo al programa Microsoft Excel de la versión 15.0 del año 2013.

Tabla 19.
*Correlaciones entre las variables e_{\min}
y e_{\max}*

Tipo de Correlación	Coefficiente de Determinación (r^2)
Exponencial	.8538
Lineal	.8425
Logarítmica	.8254
Polinómica	.8505
Potencial	.8429

Nota: (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Según la Tabla 19, la correlación exponencial es la que tiene un mejor ajuste para la relación entre las variables e_{\min} y e_{\max} , al presentar un $r^2 = .8538$, ubicándose dentro del rango de $0 \leq r^2 \leq 1$, además de ser el más próximo a la unidad respecto a los demás tipos de correlación que poseen coeficientes de determinación ligeramente inferiores a .8538.

Sin embargo, investigadores como Cubrinovski & Ishihara (2002), Bareither et al. (2008), Riquelme y Dorador (2014), establecieron que la correlación lineal es la que mejor ajuste tiene para una relación entre las variables e_{\min} y e_{\max} . Por lo tanto, teniendo en cuenta los antecedentes mencionados, se opta por una correlación lineal con un $r^2 = .8425$, porque lo más probable es que la relación entre las variables e_{\min} y e_{\max} presenten una tendencia lineal, esto se dará siempre y cuando se aumente la cantidad de muestra ($n > 90$).

A continuación, la Figura 73 muestra el ajuste para una correlación lineal entre las variables e_{\min} y e_{\max} , donde la variable independiente (X) representada por la relación de vacíos mínimo es graficado en el eje de las abscisas, y la variable dependiente (Y) representada por la relación de vacíos máximo en el eje de las ordenadas.

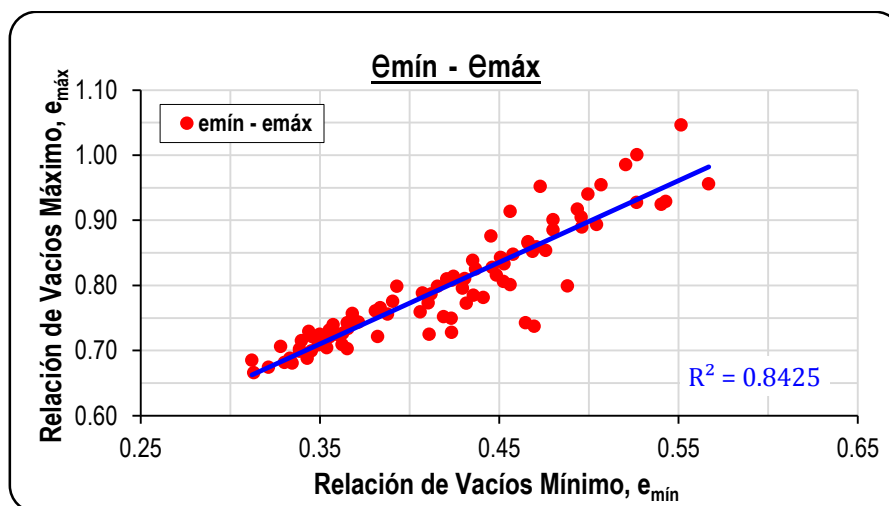


Figura 73. Ajuste para una correlación lineal entre las variables e_{\min} y e_{\max} . (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Cabe destacar en la Figura 73, que la variable dependiente Y (e_{\max}) tiende a aumentar a medida que la variable independiente X (e_{\min}) aumenta, se dice entonces que se trataría de una correlación positiva o directa. (Spiegel & Stephens, 2009, p. 345).

Como en el Ítem 4.4.1, se elige el tipo de correlación mediante el coeficiente de determinación del mismo, donde se procede a definir la ecuación de regresión según a la correlación que se haya establecido. De modo que para la relación entre las variables e_{\min} y e_{\max} se ha optado por la correlación lineal, y según Mendenhall, Beaver R. y Beaver B. (2010) señalan que la ecuación de regresión para describir la correlación lineal, tiene la siguiente forma, tal como lo muestra la Ecuación 77, siguiente: (p. 503).

$$Y = a + bX \quad (77)$$

Donde:

Y = Variable dependiente que representa a la relación de vacíos máximo.

X = Variable independiente que representa a la relación de vacíos mínimo.

a = Intercepto de la ecuación de regresión lineal.

b = Pendiente de la ecuación de regresión lineal.

Para determinar el intercepto “a” y la pendiente “b”, los cuales son importantes para definir una ecuación de regresión lineal, es posible aplicar el método de la Recta de Mínimos Cuadrados de manera directa, al tener la relación entre las variables e_{\min} y e_{\max} una forma lineal igual a: $Y = a + bX$.

Spiegel et al. (2010) proponen el uso de la Ecuación 78 para determinar a, y la Ecuación 79 para determinar b, los cuales son presentados enseguida: (p. 267).

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (78)$$

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (79)$$

Donde: “n” es la muestra de estudio (n= 90). Asimismo, se presenta los datos estadísticos para la correlación y regresión entre las variables e_{\min} y e_{\max} , los mismos que son exhibidos por la Tabla 20.

Tabla 20.
*Datos estadísticos para la correlación y
regresión entre e_{\min} y e_{\max}*

n	X	Y	XY	(X) ²	(Y) ²
1	0.371	0.744	0.276	0.138	0.554
2	0.355	0.721	0.256	0.126	0.520
3	0.349	0.709	0.248	0.122	0.503
4	0.345	0.700	0.242	0.119	0.490
5	0.339	0.699	0.237	0.115	0.489
6	0.354	0.705	0.249	0.125	0.497
7	0.362	0.710	0.257	0.131	0.503

(continúa)

n	X	Y	XY	(X) ²	(Y) ²
8	0.382	0.722	0.276	0.146	0.521
9	0.423	0.728	0.308	0.179	0.530
10	0.469	0.737	0.346	0.220	0.544
11	0.543	0.929	0.505	0.295	0.864
12	0.496	0.905	0.449	0.246	0.819
13	0.466	0.865	0.403	0.217	0.748
14	0.451	0.842	0.380	0.204	0.708
15	0.421	0.810	0.341	0.177	0.656
16	0.407	0.789	0.321	0.166	0.622
17	0.381	0.761	0.290	0.145	0.579
18	0.370	0.744	0.276	0.137	0.554
19	0.360	0.725	0.261	0.130	0.525
20	0.339	0.703	0.238	0.115	0.494
21	0.521	0.986	0.513	0.271	0.971
22	0.499	0.941	0.470	0.249	0.885
23	0.480	0.901	0.433	0.230	0.812
24	0.466	0.867	0.404	0.217	0.752
25	0.458	0.848	0.388	0.209	0.719
26	0.446	0.828	0.369	0.199	0.686
27	0.431	0.811	0.349	0.186	0.657
28	0.429	0.796	0.342	0.184	0.634
29	0.435	0.785	0.342	0.190	0.616
30	0.441	0.782	0.345	0.194	0.611
31	0.368	0.757	0.279	0.135	0.573
32	0.357	0.740	0.264	0.128	0.548
33	0.350	0.725	0.254	0.122	0.526
34	0.346	0.721	0.250	0.120	0.520
35	0.340	0.715	0.243	0.115	0.512
36	0.355	0.731	0.260	0.126	0.535
37	0.366	0.734	0.268	0.134	0.539
38	0.388	0.756	0.293	0.150	0.572
39	0.432	0.773	0.334	0.186	0.597
40	0.488	0.799	0.390	0.238	0.639
41	0.567	0.956	0.542	0.321	0.914
42	0.527	0.928	0.488	0.277	0.860
43	0.504	0.894	0.451	0.254	0.799
44	0.476	0.854	0.406	0.226	0.729
45	0.451	0.843	0.380	0.203	0.711
46	0.425	0.814	0.346	0.180	0.663
47	0.393	0.799	0.314	0.154	0.638
48	0.384	0.766	0.294	0.147	0.587
49	0.365	0.743	0.271	0.133	0.552
50	0.363	0.727	0.264	0.132	0.529
51	0.551	1.047	0.577	0.304	1.096
52	0.527	1.001	0.527	0.278	1.002
53	0.507	0.955	0.484	0.257	0.912
54	0.494	0.918	0.453	0.244	0.842
55	0.480	0.885	0.425	0.230	0.784
56	0.469	0.853	0.399	0.219	0.727
57	0.453	0.833	0.377	0.205	0.694
58	0.448	0.816	0.366	0.201	0.666
59	0.452	0.806	0.365	0.205	0.650
60	0.456	0.802	0.366	0.208	0.643
61	0.351	0.714	0.250	0.123	0.510
62	0.333	0.689	0.229	0.111	0.474
63	0.330	0.682	0.225	0.109	0.465
64	0.321	0.675	0.217	0.103	0.455
65	0.313	0.666	0.209	0.098	0.444

(continúa)

n	X	Y	XY	(X) ²	(Y) ²
66	0.334	0.681	0.228	0.112	0.464
67	0.343	0.688	0.236	0.118	0.474
68	0.365	0.703	0.257	0.133	0.494
69	0.411	0.725	0.298	0.169	0.526
70	0.465	0.743	0.345	0.216	0.552
71	0.540	0.925	0.500	0.292	0.856
72	0.496	0.890	0.442	0.246	0.792
73	0.471	0.859	0.404	0.221	0.738
74	0.437	0.826	0.361	0.191	0.682
75	0.415	0.799	0.332	0.173	0.639
76	0.391	0.776	0.303	0.153	0.602
77	0.368	0.750	0.276	0.136	0.562
78	0.344	0.729	0.251	0.118	0.532
79	0.328	0.707	0.232	0.108	0.499
80	0.312	0.686	0.214	0.097	0.470
81	0.473	0.953	0.450	0.224	0.907
82	0.456	0.914	0.417	0.208	0.836
83	0.445	0.876	0.390	0.198	0.767
84	0.435	0.839	0.365	0.189	0.703
85	0.424	0.808	0.342	0.179	0.653
86	0.412	0.787	0.324	0.170	0.620
87	0.410	0.774	0.317	0.168	0.598
88	0.406	0.759	0.308	0.165	0.577
89	0.419	0.752	0.315	0.176	0.566
90	0.423	0.750	0.317	0.179	0.563
Σ	37.64	71.61	30.39	16.10	57.64

Nota: Σ= Sumatoria. (Elaboración propia).

Luego se ha reemplazado los datos estadísticos para determinar a y b en las Ecuaciones 78 y 79, logrando de esta manera obtener las Ecuaciones 80 y 81 respectivamente, las mismas que establecen la recta de mínimos cuadrados.

$$a = \frac{(71.610)(16.100) - (37.641)(30.398)}{(90 * 16.100) - (37.641)^2} = 0.271 \quad (80)$$

$$b = \frac{(90 * 30.398) - (37.641)(71.610)}{(90 * 16.100) - (37.641)^2} = 1.254 \quad (81)$$

Seguidamente la recta de regresión determinada por el método de mínimos cuadrados es establecida por medio del intercepto "a" y la pendiente "b" sustituyéndolos a la Ecuación 77, para que de esta forma se presente a continuación la Ecuación 82:

$$Y = 0.271 + 1.254X \quad (82)$$

La Ecuación 82 permitirá determinar la relación de vacíos máximo de arenas a partir de la relación de vacíos mínimo, la misma que está en función del coeficiente de uniformidad obtenida a través del ensayo de granulometría. Entonces la variable dependiente Y está representado por la relación de vacíos máximo ($e_{m\acute{a}x}$) y la variable independiente X por la relación de vacíos mínimo ($e_{m\acute{i}n}$). Lo dicho puede ser expresado a través de la Ecuación 83 mostrada enseguida:

$$e_{m\acute{a}x} = 0.271 + 1.254e_{m\acute{i}n} \quad (83)$$

De la misma manera como se había afirmado en el Ítem 4.4.1, para indicar que tan bien describe una ecuación de regresión la relación entre dos variables, es posible establecerlo mediante el coeficiente de correlación (r) y para su determinación está dada por la Ecuación 75, presentada en dicho ítem.

Ahora reemplazando los datos estadísticos de la Tabla 20 en la Ecuación 75, se obtiene el coeficiente de correlación para la relación entre las variables $e_{m\acute{i}n}$ y $e_{m\acute{a}x}$, tal como se exhibe en la Ecuación 84 siguiente:

$$r = \frac{(90 * 30.398) - (37.641) * (71.610)}{\sqrt{[(90 * 16.100) - (37.641)^2] * [(90 * 57.645) - (71.610)^2]}} = .9179 \quad (84)$$

Según la Ecuación 84, se tiene como resultado un $r = .9179$ y de acuerdo a la Tabla 18 indica que existe una correlación positiva muy fuerte entre las variables $e_{m\acute{i}n}$ y $e_{m\acute{a}x}$, dado que cuando la variable independiente X ($e_{m\acute{i}n}$) crece, la variable dependiente Y ($e_{m\acute{a}x}$) crece también.

Por otro lado, se había informado anteriormente, que la relación de vacíos mínimo está en función del coeficiente de uniformidad, el mismo que ha sido sustentado en el Ítem 4.4.1, obteniendo del análisis como resultado la Ecuación 74, donde: $e_{m\acute{i}n} = f(C_U)$. En ese contexto es conveniente sustituir la Ecuación 74 en la Ecuación 83, esto con la finalidad de presentar la Ecuación 85, en el que la relación de vacíos máximo está en función del coeficiente de uniformidad, $e_{m\acute{a}x} = f(C_U)$.

$$e_{m\acute{a}x} = 0.271 + 1.254 \left(\frac{0.664}{C_U^{0.339}} \right) \quad (85)$$

Una vez realizado la sustitución, la Ecuación 85 puede reducirse al operarlo, resultando la Ecuación 86, tal como se muestra a continuación:

$$e_{m\acute{a}x} = 0.271 + \frac{0.832}{C_U^{0.339}} \quad (86)$$

En consonancia con lo señalado en el Ítem 4.4, el primer objetivo específico de la presente tesis, es obtener una ecuación de regresión para la determinación del ángulo de fricción en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado, esto mediante un análisis correlacional. Los mismos que han sido desarrollados en los Ítems 4.4.1 (relación de vacíos mínimo) y 4.4.2 (relación de vacíos máximo), deduciendo que el coeficiente de uniformidad es una característica física influyente en la determinación de la relación de vacíos mínimo y máximo, los cuales son parámetros fundamentales en la obtención del ángulo de fricción de arenas.

En el Capítulo II se expuso la Ecuación 33 expresada por Meyerhof (1956), en donde el ángulo de fricción está en función de la densidad relativa, $\varphi' = f(D_R)$, aplicado para suelos granulares con menos de 5% de arena fina y limo (tal es el presente caso, ya que la muestra de arena con la que se ha trabajado presenta la característica dada). Al mismo tiempo la Ecuación 20 citado por Das (2015) da a conocer que la densidad relativa está en función de la relación de vacíos mínimo, máximo y natural, $D_R = f(e_{m\acute{i}n}, e_{m\acute{a}x} \text{ y } e)$. En ese sentido es oportuno reemplazar la Ecuación 20 en la Ecuación 33, obteniendo de esta forma la Ecuación 87, donde el ángulo de fricción está en función de la relación de vacíos mínimo, máximo y natural, $\varphi' = f(e_{m\acute{i}n}, e_{m\acute{a}x}, e)$.

$$\varphi' = 30^\circ + 0.15 * \left(\frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \right) \quad (87)$$

Ahora se ve que la Ecuación 87 aún todavía es posible reemplazar valores, como son las Ecuaciones 74 (relación de vacíos mínimo) y 86 (relación de vacíos máximo), dado que ambas ecuaciones están en función del coeficiente de uniformidad. Por lo tanto, de acuerdo a lo dicho se obtiene la Ecuación 88:

$$\varphi' = 30^\circ + 0.15 * \left[\frac{\left(0.271 + \frac{0.832}{C_U^{0.339}} \right) - e}{\left(0.271 + \frac{0.8321}{C_U^{0.339}} \right) - \frac{0.664}{C_U^{0.339}}} \right] \quad (88)$$

Al haber realizado la sustitución, la Ecuación 88 puede aún reducirse a su máxima expresión, consiguiendo exhibir finalmente la Ecuación 89 siguiente:

$$\varphi' = 30^\circ + 0.15 * \left[\frac{(0.271 - e)C_U^{0.349} + 0.832}{0.271C_U^{0.349} + 0.169} \right] \quad (89)$$

Donde:

φ' = Ángulo de fricción interna (°).

e = Relación de vacíos natural.

C_U = Coeficiente de uniformidad.

En definitiva, gracias a la Ecuación 89, se podrá determinar el ángulo de fricción a partir de la relación de vacíos natural obtenida por los ensayos de densidad natural y gravedad específica, y también a partir del coeficiente de uniformidad obtenida a través del ensayo de granulometría, es decir el ángulo de fricción está en función de las características físicas (e y C_U), cumpliendo de esta manera con el primer objetivo de la presente investigación a nivel de tesis.

4.5. Correlación y Regresión de Resultados para determinar el Coeficiente de Permeabilidad

Acorde al segundo objetivo específico de la presente tesis, se quiere obtener una ecuación de regresión para la determinación del coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado, esto mediante un análisis correlacional. Por lo que a continuación se presenta la correlación y regresión para la determinación del coeficiente de permeabilidad.

Conforme a lo estipulado específicamente en el Ítem 4.3.2, se ha llegado a la conclusión que el coeficiente de permeabilidad ostenta una relación directa con el diámetro efectivo (Ver Figura 69), al presentar una menor dispersión y una mejor tendencia entre

sus puntos, convirtiéndolo de esta forma en una característica física influyente, para la determinación del coeficiente de permeabilidad. Y para poder establecer que tanta relación existe entre D_{10} y k , es posible determinarlo también mediante la teoría de correlación, como en los Ítems 4.4.1 y 4.4.2.

Seguidamente se presenta la Tabla 21, donde muestra las correlaciones entre las variables D_{10} y k , teniendo en consideración que los resultados fueron obtenidos de acuerdo al programa Microsoft Excel de la versión 15.0 del año 2013, tal como se venía haciéndolo en los Ítems 4.4.1 y 4.4.2.

Tabla 21.
Correlaciones entre las variables D_{10} y k

Tipo de Correlación	Coeficiente de Determinación (r^2)
Exponencial	.6775
Lineal	.9469
Logarítmica	.8323
Polinómica	.9473
Potencial	.8953

Nota: (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

La Tabla 21, expone que la correlación polinómica es la que tiene un mejor ajuste para la relación entre las variables D_{10} y k , al presentar un $r^2 = .9473$, ubicándose dentro del rango de $0 \leq r^2 \leq 1$, así mismo de ser el más próximo a la unidad respecto a los demás tipos de correlación que poseen coeficientes de determinación inferiores a .9473. Por el contrario, investigadores y organizaciones como Koseny-Carman (1956), NAVFAC (citado por Chapuis et al., 1989), USBR (citado por Vukovic et al., 1992) y Chapuis (2004), establecieron que la correlación lineal es la que mejor ajuste tiene para una relación entre las variables D_{10} y k .

Por esto teniendo en consideración los antecedentes mencionados, se opta por una correlación lineal con un $r^2 = .9469$, ya que lo más probable es que la relación entre las variables D_{10} y k presenten una tendencia lineal, con la condición de aumentar la cantidad de muestra ($n > 30$). Además, el coeficiente de determinación de la correlación lineal es prácticamente igual al de la correlación polinómica, dado que se diferencia por solo 4 diezmilésimas (0.0004).

De esta manera la Figura 74 muestra el ajuste para una correlación lineal entre las variables D_{10} y k , donde la variable independiente (X) representada por el diámetro efectivo es graficado en el eje de las abscisas, y la variable dependiente (Y) representada por el coeficiente de permeabilidad en el eje de las ordenadas.

No obstante, se debe también señalar que la variable dependiente Y (k) tiende a aumentar a medida que la variable independiente X (D_{10}) aumenta, en donde se trataría de una correlación positiva o directa. (Spiegel & Stephens, 2009, p. 345). El mismo que puede ser observado gráficamente por medio de la Figura 74 siguiente:

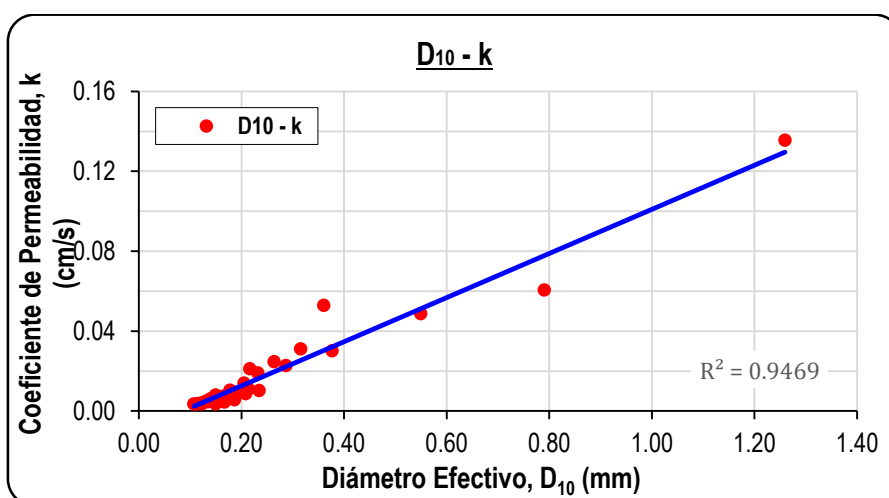


Figura 74. Ajuste para una correlación lineal entre las variables D_{10} y k . (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Al igual que en los Ítems 4.4.1 y 4.4.2, se elige el tipo de correlación mediante el coeficiente de determinación del mismo, el cual se procede a definir la ecuación de regresión según a la correlación que se haya establecido. Dado que para la relación entre las variables D_{10} y k se ha optado por la correlación lineal, y según Mendenhall et al. (2010) expresan que la ecuación de regresión para describir la correlación lineal, tiene la siguiente forma presentada por la Ecuación 90: (p. 503).

$$Y = a + bX \quad (90)$$

Donde:

Y = Variable dependiente que representa al coeficiente de permeabilidad.

X = Variable independiente que representa al diámetro efectivo.

a = Intercepto de la ecuación de regresión lineal.

b = Pendiente de la ecuación de regresión lineal.

Como se había puesto en conocimiento en el Ítem 4.4.2, para determinar el intercepto “a” y la pendiente “b”, los cuales son esenciales para definir una ecuación de regresión lineal, es posible emplear el método de la Recta de Mínimos Cuadrados de manera directa, al presentar la relación entre las variables D_{10} y k una forma lineal igual a: $Y = a + bX$.

A partir de las Ecuaciones 78 y 79 expuestas en el Ítem 4.4.2, es aplicable para determinar a y b respectivamente, ya que estos coeficientes de regresión adoptan también una forma lineal. A continuación, se presenta la Tabla 22, denominada datos estadísticos para la correlación y regresión entre las variables D_{10} y k , teniendo en cuenta que la muestra de estudio en este caso viene dada por $n = 30$.

Tabla 22.
*Datos estadísticos para la correlación y
regresión entre D_{10} y k*

n	X'	Y'	X'Y'	(X') ²	(Y') ²
1	0.150	0.00362	0.00054	0.02250	0.00001
2	0.167	0.00455	0.00076	0.02789	0.00002
3	0.186	0.00564	0.00105	0.03469	0.00003
4	0.208	0.00869	0.00181	0.04347	0.00008
5	0.235	0.01030	0.00242	0.05513	0.00011
6	0.287	0.02290	0.00657	0.08227	0.00052
7	0.377	0.03017	0.01137	0.14197	0.00091
8	0.550	0.04876	0.02680	0.30202	0.00238
9	0.790	0.06063	0.04792	0.62468	0.00368
10	1.260	0.13569	0.17092	1.58669	0.01841
11	0.360	0.05298	0.01909	0.12990	0.00281
12	0.316	0.03111	0.00982	0.09956	0.00097
13	0.264	0.02475	0.00653	0.06962	0.00061
14	0.232	0.01910	0.00443	0.05373	0.00036
15	0.205	0.01403	0.00288	0.04212	0.00020
16	0.178	0.01049	0.00186	0.03156	0.00011
17	0.150	0.00810	0.00121	0.02250	0.00007
18	0.139	0.00614	0.00086	0.01946	0.00004
19	0.130	0.00490	0.00064	0.01700	0.00002
20	0.122	0.00353	0.00043	0.01497	0.00001
21	0.107	0.00356	0.00038	0.01152	0.00001
22	0.113	0.00359	0.00040	0.01273	0.00001
23	0.119	0.00390	0.00046	0.01417	0.00002
24	0.126	0.00430	0.00054	0.01593	0.00002
25	0.135	0.00473	0.00064	0.01815	0.00002
26	0.145	0.00625	0.00091	0.02105	0.00004
27	0.164	0.00752	0.00123	0.02678	0.00006
28	0.188	0.00960	0.00180	0.03534	0.00009
29	0.214	0.01110	0.00237	0.04580	0.00012

(continúa)

n	X'	Y'	X'Y'	(X') ²	(Y') ²
30	0.217	0.02121	0.00460	0.04694	0.00045
Σ	7.834	0.582	0.331	3.670	0.032

Nota: Σ = Sumatoria. (Elaboración propia).

Posteriormente se sustituye los datos estadísticos en las Ecuaciones 78 y 79 para determinar a y b, obteniéndose las Ecuaciones 91 y 92 correspondientemente, las propias que establecen la recta de mínimos cuadrados.

$$a = \frac{(0.582)(3.670) - (7.834)(0.331)}{(30 * 3.670) - (7.834)^2} = -0.0094 \quad (91)$$

$$b = \frac{(30 * 0.331) - (7.834)(0.582)}{(30 * 3.670) - (7.834)^2} = 0.110 \quad (92)$$

A la poste la recta de regresión determinada por el método de mínimos cuadrados es establecida por medio del intercepto “a” y la pendiente “b” reemplazándolos a la Ecuación 90, exhibida anteriormente, dado que para el presente caso también se ha optado por una regresión lineal. Por lo que se obtiene la siguiente Ecuación 93 donde:

$$Y = -0.0094 + 0.110X \quad (93)$$

Entonces en base a la Ecuación 93 se podrá determinar el coeficiente de permeabilidad de arenas a partir del diámetro efectivo obtenida a través del ensayo de granulometría. Donde la variable dependiente Y está representado por el coeficiente de permeabilidad (k) y la variable independiente X por el diámetro efectivo (D_{10}). Lo mencionado puede ser expresado y ordenado mediante la Ecuación 94, donde el coeficiente de permeabilidad está en función del diámetro efectivo, $k = f(D_{10})$.

$$k = 0.110D_{10} - 0.0094 \quad (94)$$

Seguidamente como se había sustentado en el Ítem 4.4.1, que para indicar que tan bien describe una ecuación de regresión la relación entre dos variables, es conveniente establecerlo mediante el coeficiente de correlación (r) y para su determinación está dada por la Ecuación 75, presentada en dicho ítem.

Enseguida sustituyendo los datos estadísticos de la Tabla 22 en la Ecuación 75, se obtiene el coeficiente de correlación para la relación entre las variables D_{10} y k , tal como se exhibe en la Ecuación 95 siguiente:

$$r = \frac{(30 * 0.331) - (7.834) * (0.582)}{\sqrt{[(30 * 3.670) - (7.834)^2] * [(30 * 0.032) - (0.582)^2]}} = .9731 \quad (95)$$

De acuerdo a la Ecuación 95, se tiene como resultado un $r = .9731$ y según a la Tabla 18, exhibido en el Ítem 4.4.1, se afirma que existe una correlación positiva muy fuerte entre las variables D_{10} y k , ya que cuando la variable independiente X (D_{10}) crece, la variable dependiente Y (k) crece también.

4.6. Prueba de Hipótesis de Investigación

Borja (2012) responde: La hipótesis es un supuesto o una respuesta tentativa a la pregunta de investigación formulada. Toda hipótesis por lo general debería tener dos variables (dependiente e independiente) entre las cuales podría existir una correlación numérica o una relación de causa-efecto (...). (p. 21).

Hernández et al. (2014) definen: "Las hipótesis, en el enfoque cuantitativo, se someten a prueba en la 'realidad' cuando se implementa un diseño de investigación, se recolectan datos con uno o varios instrumentos de medición, y se analizan e interpretan esos mismos datos" (p. 117).

En adición, autores tales como Wilcox (2012), Gordon (2010) Wiersma y Jurs (2008) y Stockburger (2006) mencionan: Una hipótesis en el contexto de la estadística inferencial es una proposición respecto de uno o varios parámetros, y lo que el investigador hace por medio de la prueba de hipótesis es determinar si la hipótesis poblacional es congruente con los datos obtenidos en la muestra. (Hernández et al., 2014, p. 299).

Lo que da a entender las citas dadas anteriormente, es que las hipótesis son proposiciones tentativas para responder a las preguntas de investigación, acerca de la relación entre dos o más variables, las cuales tienen que ser probadas con el fin de determinar si son apoyadas o refutadas, esto aplicado a una muestra de datos que a la vez

tiene que ser válida para toda la población, la propia que es posible realizarlo mediante una prueba estadística.

Esto obedece siempre y cuando exista una correlación numérica o una relación de causa-efecto, que no es ajeno a la presente tesis, dado que adopta ambos campos, al ubicarse en un nivel EXPLICATIVO (relación de causa-efecto) – CORRELACIONAL (correlación numérica), además que el enfoque es CUANTITATIVO, al ser posible el sometimiento a prueba de las hipótesis, y a la vez que implementa un diseño de investigación EXPERIMENTAL, en donde se obtuvo la recolección de datos a través de instrumentos de medición, los mismos que fueron analizados e interpretados, tal como ha sido desarrollado a lo largo de los Ítems 4.2 y 4.4 para el ángulo de fricción y en los Ítems 4.3 y 4.5 para el coeficiente de permeabilidad.

Es oportuno citar a Walpole et al. (2012) al declarar que: La verdad o falsedad de una hipótesis estadística nunca se sabe con absoluta certeza, a menos que se examine toda la población, lo cual, por supuesto, sería poco práctico en la mayoría de las situaciones. En vez de eso se toma una muestra aleatoria de la población de interés y se utilizan los datos contenidos en ella para proporcionar evidencia que respalde o no la hipótesis. La evidencia de la muestra que es inconsistente con la hipótesis planteada conduce al rechazo de la misma. (p. 319).

Por otra parte, referente a la metodología para poner a prueba una hipótesis, existen diversos criterios de varios autores, de los cuales uno de los más recomendables desde el punto de vista estadístico es lo que propone Supo (2012) donde afirma que la prueba de hipótesis o denominada por él, como “el ritual de la significancia estadística”, porque cada vez que se quiere someter a prueba un planteamiento, se tiene que realizar 5 procedimientos o pasos de manera ritualista.

La Figura 75 presentada a continuación, exhibe la secuencia de pasos para realizar la prueba de hipótesis, la misma que es adoptada en la presente investigación.

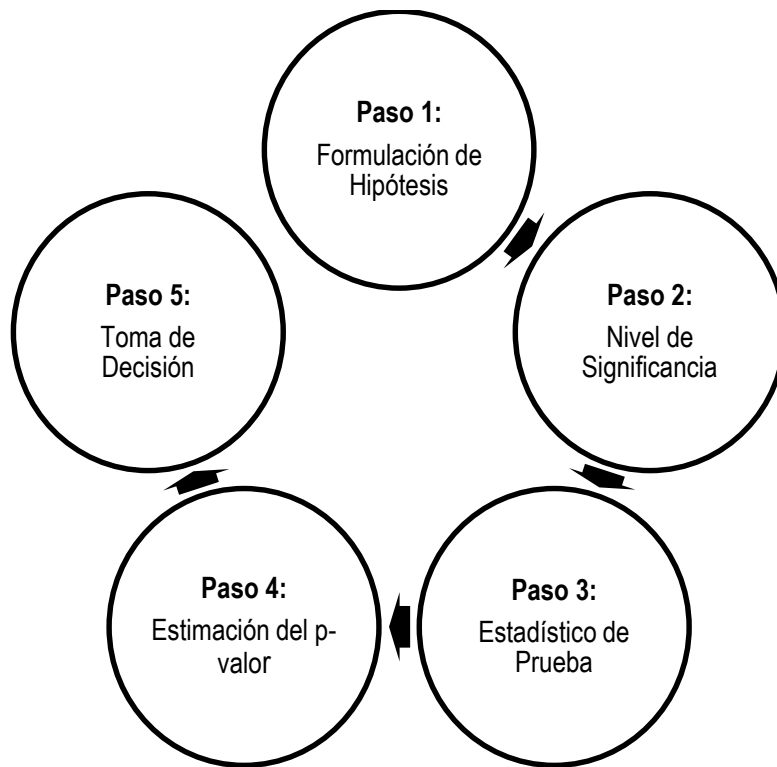


Figura 75. Secuencia de pasos para realizar la prueba de hipótesis. Adaptado de “Prueba de hipótesis: metodología de la investigación científica”, por Supo J., 2012.

4.6.1. Procedimiento para la Prueba de Hipótesis

4.6.1.1. Paso 1: Formulación de Hipótesis

Consiste en trasladar la estructura gramatical, lógica y científica hacia la estructura matemática el cual se conoce como sistema de hipótesis o hipótesis estadística; así se tiene: (Supo, 2012).

- H_0 : Hipótesis nula o hipótesis de trabajo, es la negación de la hipótesis del investigador; la que se tiene que rechazar o no.
- H_1 : Hipótesis alterna/alternativa o hipótesis del investigador; es lo que plantea el investigador; lo que se desea probar.

Walpole et al. (2012) explican detalladamente las dos hipótesis estadísticas, como sigue: La estructura de la prueba de hipótesis se establece usando el término hipótesis nula, el cual se refiere a cualquier hipótesis que se desea probar y se denota con H_0 . El rechazo de H_0 conduce a la aceptación de una hipótesis alternativa, que se denota con H_1 . La comprensión de las diferentes funciones que desempeñan la hipótesis nula (H_0) y la

hipótesis alternativa (H_1) es fundamental para entender los principios de la prueba de hipótesis; La hipótesis alternativa H_1 , por lo general representa la pregunta que se responderá o la teoría que se probará, por lo que su especificación es muy importante. La hipótesis nula H_0 anula o se opone a H_1 y a menudo es el complemento lógico de H_1 (...). (p. 320).

Entonces el primer paso es situar la hipótesis del investigador como hipótesis alterna (H_1) y formular la hipótesis nula (H_0) que viene a ser la negación de la alterna.

4.6.1.2. Paso 2: Establecer el Nivel de Significancia

Supo (2012) menciona si lo que se desea es quedarse con H_1 , pero al trabajar con H_0 , entonces la intención es rechazar H_0 para quedarse con H_1 ; no obstante, se corre el riesgo cometer el error de rechazar H_0 , cuando esta es verdadera, por lo que se debe establecer un límite de tolerancia sobre el cual no se deba exceder cuando se quiere dar por válida una conclusión.

Según el estadístico británico Ronald Fisher, el nivel de significancia estadística equivale a la magnitud del error que se está dispuesto a correr de rechazar una hipótesis nula verdadera. Asimismo, dicho nivel se denota por la letra griega alfa (α) y para la mayoría de los propósitos, se suele establecer en $.05 \approx 5\%$ y se considera significativo a todo p-valor que se encuentre por debajo de este nivel, además que se considera altamente significativo cuando el p-valor es menor a $.01 \approx 1\%$. (Supo, 2012).

Hernández et al. (2014) detallan puntualmente los dos niveles de significancia más utilizados por los investigadores, aduciendo que el nivel de significancia de $.05$, el cual implica que el investigador tiene 95% de seguridad para generalizar sin equivocarse y solo 5% en contra. En términos de probabilidad, 0.95 y 0.05, respectivamente; ambos suman la unidad; El nivel de significancia de $.01$, el cual implica que el investigador tiene 99% en su favor y 1% en contra ($0.99 + 0.01 = 1.00$) para generalizar sin temor. (p. 302).

Agrega Hernández et al. (2014): A veces el nivel de significancia o significación puede ser todavía más riguroso, por ejemplo, $.001$, $.00001$, $.00000001$ (Liao, 2003), pero al menos debe ser de $.05$. No se acepta un nivel de $.06$ (94% a favor de la generalización confiable), porque se busca hacer ciencia lo más exacta posible (p. 302).

Cabe destacar que el nivel de significancia: Es un valor de certeza que el investigador fija a priori, respecto a no equivocarse (Capraro, 2006). Cuando uno lee en un reporte de investigación que los resultados fueron significativos al nivel de .05 ($p < .05$), indica que existe 5% de posibilidad de error al aceptar la hipótesis, correlación o valor obtenido al aplicar una prueba estadística; o 5% de riesgo de que se rechace una hipótesis nula cuando era verdadera (Babbie, 2012 & Mertens, 2010). (Hernández et al., 2014, p. 302).

El segundo paso es establecer el nivel de significancia (α), dado que es la máxima probabilidad de error, o en palabras simples, es la máxima cantidad de error que el investigador está dispuesto a aceptar para quedarse con H_1 .

- **Tipos de Errores**

Por otro lado, es importante tener en claro que es posible cometer errores al probar hipótesis y al realizar estadística inferencial.

Yaremko et al. (2013), Cozby & Bates (2012), Ravid (2011), Mertens (2010), Buskirk (2008), Wiersma & Jurs (2008) declaran que nunca el investigador estará completamente seguro de su estimación. Trabaja con altos niveles de confianza o seguridad pero, aunque el riesgo es mínimo, podría cometerse un error. Los resultados posibles al probar hipótesis son: (Hernández et al., 2014, p. 303).

- Aceptar una hipótesis verdadera (decisión correcta).
- Rechazar una hipótesis falsa (decisión correcta).
- Aceptar una hipótesis falsa (conocido como error del tipo II o error beta).
- Rechazar una hipótesis verdadera (conocido como error del tipo I o error alfa).

Ambos tipos de error son indeseables; sin embargo, puede reducirse sustancialmente la posibilidad de que se presenten mediante:

- Muestras probabilísticas representativas.
- Inspección cuidadosa de los datos.
- Selección de las pruebas estadísticas apropiadas.
- Mayor conocimiento de la población.

En la siguiente Tabla 23, se muestra las situaciones posibles que puede ser tomada por el investigador, al probar una hipótesis estadística.

Tabla 23.
Situaciones posibles al probar una hipótesis estadística

	H_0 es verdadera	H_0 es falsa
No rechazar H_0	Decisión correcta	Error tipo II
Rechazar H_0	Error tipo I	Decisión correcta

Nota: H_0 = Hipótesis nula. Adaptado de “*Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*”, por Walpole R. E. et al., 2012, p. 323. Copyright 2012 por PEARSON.

Al interpretar la Tabla 23, se puede deducir que el error tipo II o el error beta, es un error oculto, dado que existe cierta dificultad para poder identificarlo de acuerdo a los autores que tratan de explicar al respecto, dando a entender que si se comete el error tipo II vendría a ser más grave que si se comete el error tipo I.

4.6.1.3. Paso 3: Elección del Estadístico de Prueba

Hay dos tipos de pruebas estadísticas: Las paramétricas y las no paramétricas, dependiendo de la distribución de la variable aleatoria.

Cada tipo posee sus características y presuposiciones que lo sustentan; la elección de qué clase de análisis efectuar depende de los supuestos. De igual forma, cabe destacar que en una misma investigación es posible llevar a cabo análisis paramétricos para algunas hipótesis y variables, y análisis no paramétricos para otras. (Hernández et al., 2014, p. 304).

En concordancia con Supo (2012) aclara que el estadístico de prueba se elige en función a 6 conceptos, los propios que son mostrados a continuación:

- Tipo de estudio.
- Nivel investigativo.
- Diseño de investigación.
- Objetivo estadístico.
- Escalas de medición de las variables.
- Comportamiento de los datos.

Este último punto se debe considerar la distribución de los datos en las variables numéricas y las frecuencias esperadas para las variables categóricas.

Asimismo, Hernández et al. (2014), listan a los métodos o las pruebas estadísticas paramétricas más utilizadas, las cuales son: (p. 304).

- Coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal.
- Prueba t.
- Prueba de contraste de la diferencia de proporciones.
- Análisis de varianza unidireccional (ANOVA en un sentido).
- Análisis de varianza factorial (ANOVA).
- Análisis de covarianza (ANCOVA).

4.6.1.4. Paso 4: Lectura del p-valor

Supo (2012) comenta que al haber escogido un estadístico de prueba, este permitirá calcular el error que se había establecido como límite en el Paso 2 (Nivel de significancia), el mismo que no debe excederse. Para saber si no se ha excedido sobre este límite, se debe calcular el p-valor y su magnitud deberá estar por debajo del límite planteado preliminarmente.

Este paso no fue planteado originalmente por Fisher, porque entonces no se disponían de programas informáticos a la hora de calcular el valor de p, el cual cuantifica el error tipo I y ayuda a tomar una decisión de rechazo a la hipótesis nula (H_0) cuando es menor al nivel de significancia (α), y de no rechazo cuando su valor es mayor al alfa planteado. (Supo, 2012).

El p-valor, al ser la cuantificación de error solo es un dato que ayuda a decidir a la hora de tomar decisiones basadas en la probabilidad.

En conclusión, el p-valor es la probabilidad o frecuencia del error, de que el investigador se equivoque al declarar una afirmación anticipada o una respuesta tentativa a la pregunta de investigación.

4.6.1.5. Paso 5: Toma de Decisión

Siguiendo lo comentado por Supo (2012) menciona también que una vez calculado el p-valor que es la magnitud de error y se tiene un límite sobre el cual no se debe pasar, entonces si el p-valor está por debajo de este límite se puede afirmar H_1 , y en consecuencia rechazar H_0 , para que de esta manera quedarse con H_1 , pero si el p-valor no está por debajo de este límite, más bien está por encima, quiere decir que se tiene mucho error, y por tanto no se logra quedarse con H_1 , por lo que no se puede rechazar H_0 , y en consecuencia no se demuestra la hipótesis del investigador.

En las épocas en que no se podía estimar de manera práctica el p-valor, se solía contrastar el valor del estadístico de prueba con el valor teórico o de tabla que correspondía a la distribución que siguen nuestras variables; sin embargo, este método no solamente ha quedado obsoleto, sino que además es inexacto. Hoy en día cuando se trata de demostrar una hipótesis del investigador no hay mejor que la estimación del p-valor. (Supo, 2012).

La decisión se toma en función a la magnitud del p-valor, en relación al nivel de significancia que se planteó preliminarmente. Enseguida se da las condiciones para la toma de decisión, de acuerdo a lo que se ha expuesto anteriormente.

- Si el p-valor $\geq \alpha$, entonces se acepta H_0 y se rechaza H_1 .
- Si el p-valor $< \alpha$, entonces se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

4.6.2. Prueba de Hipótesis General de Investigación

La hipótesis general de la presente tesis está planteada de la siguiente manera:

“Es factible proponer una metodología simple, accesible y confiable para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado”.

De acuerdo a la hipótesis general, se quiere probar si es factible proponer una metodología alternativa para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas de arenas limpias, de tal forma puedan obtenerse realizando ensayos básicos de laboratorio, tal como el ensayo de

análisis granulométrico; metodología simple y accesible en cuanto a su realización. Y a través de los resultados obtenidos, determinar el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad por medio de ecuaciones de regresión, obtenidas a partir de un análisis de regresión entre variables para cada caso. Finalmente, medir la confiabilidad o validez de los resultados proporcionados por la metodología planteada respecto a las metodologías que a menudo se ponen en práctica; el ensayo de la densidad relativa (densidad mínima, máxima y natural) para el ángulo de fricción y el ensayo de permeabilidad de carga constante para el coeficiente de permeabilidad.

Entonces para realizar la prueba de hipótesis general, se logrará desarrollarlo por medio de las hipótesis específicas, dado que cada una de ellas obedece lo planteado por esta. A continuación, se sustentan las pruebas de hipótesis específicas para el ángulo de fricción, para el coeficiente de permeabilidad y para la confiabilidad, en los Ítems 4.6.2.1, 4.6.2.2 y 4.6.2.3, respectivamente.

4.6.2.1. Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (Correlación para el Ángulo de Fricción)

La hipótesis específica de la presente tesis para el ángulo de fricción, está planteado de la siguiente manera:

“Es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del ángulo de fricción en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional”.

- **Paso 1: Formulación de Hipótesis**

H_0 : “NO es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del ángulo de fricción (a partir de e_{\min} y e_{\max}) en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional”. O puede ser formulado H_0 como: “NO existe correlación entre las variables”.

H_1 : “Es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del ángulo de fricción (a partir de e_{\min} y e_{\max}) en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional”. O puede ser formulado H_0 como: “Existe correlación entre las variables”.

- **Paso 2: Establecer en Nivel de Significancia**

El nivel de significancia queda establecido en .05 (5%), para la prueba de hipótesis de correlación para la relación de vacíos mínimo (e_{\min}) como para la relación de vacíos máximo (e_{\max}).

- **Paso 3: Elección del Estadístico de Prueba**

El estadístico de prueba queda elegido por el coeficiente de Pearson y regresión lineal, ya que es una prueba estadística paramétrica. De igual modo esta prueba es aplicada tanto para la relación de vacíos mínimo como para la relación de vacíos máximo. Enseguida se muestra los datos estadísticos para la prueba de hipótesis de e_{\min} y e_{\max} , mediante las Tablas 24 y 25.

Tabla 24.

Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de e_{\min} (correlación)

n	C _U	e_{\min}	n	C _U	e_{\min}	n	C _U	e_{\min}
1	5.300	0.371	31	5.300	0.368	61	5.300	0.351
2	5.718	0.355	32	5.718	0.357	62	5.718	0.333
3	7.144	0.349	33	7.144	0.350	63	7.144	0.330
4	7.875	0.345	34	7.875	0.346	64	7.875	0.321
5	8.069	0.339	35	8.069	0.340	65	8.069	0.313
6	7.830	0.354	36	7.830	0.355	66	7.830	0.334
7	7.050	0.362	37	7.050	0.366	67	7.050	0.343
8	5.433	0.382	38	5.433	0.388	68	5.433	0.365
9	4.121	0.423	39	4.121	0.432	69	4.121	0.411
10	2.766	0.469	40	2.766	0.488	70	2.766	0.465
11	2.122	0.543	41	2.122	0.567	71	2.122	0.540
12	2.418	0.496	42	2.418	0.527	72	2.418	0.496
13	2.888	0.466	43	2.888	0.504	73	2.888	0.471
14	3.286	0.451	44	3.286	0.476	74	3.286	0.437
15	3.716	0.421	45	3.716	0.451	75	3.716	0.415
16	4.306	0.407	46	4.306	0.425	76	4.306	0.391
17	5.124	0.381	47	5.124	0.393	77	5.124	0.368
18	5.551	0.370	48	5.551	0.384	78	5.551	0.344
19	6.003	0.360	49	6.003	0.365	79	6.003	0.328
20	6.497	0.339	50	6.497	0.363	80	6.497	0.312
21	2.251	0.521	51	2.251	0.551	81	2.251	0.473
22	2.252	0.499	52	2.252	0.527	82	2.252	0.456
23	2.480	0.480	53	2.480	0.507	83	2.480	0.445
24	2.663	0.466	54	2.663	0.494	84	2.663	0.435
25	2.794	0.458	55	2.794	0.480	85	2.794	0.424
26	2.864	0.446	56	2.864	0.469	86	2.864	0.412
27	3.277	0.431	57	3.277	0.453	87	3.277	0.410
28	3.455	0.429	58	3.455	0.448	88	3.455	0.406
29	3.426	0.435	59	3.426	0.452	89	3.426	0.419
30	3.669	0.441	60	3.669	0.456	90	3.669	0.423

Nota: n= Muestra de estudio; e_{\min} = Relación de vacíos mínimo; C_U= Coeficiente de uniformidad. (Elaboración propia).

Tabla 25.

Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de $e_{m\acute{a}x}$ (correlación)

n	$e_{m\acute{i}n}$	$e_{m\acute{a}x}$	n	$e_{m\acute{i}n}$	$e_{m\acute{a}x}$	n	$e_{m\acute{i}n}$	$e_{m\acute{a}x}$
1	0.371	0.744	31	0.368	0.757	61	0.351	0.714
2	0.355	0.721	32	0.357	0.740	62	0.333	0.689
3	0.349	0.709	33	0.350	0.725	63	0.330	0.682
4	0.345	0.700	34	0.346	0.721	64	0.321	0.675
5	0.339	0.699	35	0.340	0.715	65	0.313	0.666
6	0.354	0.705	36	0.355	0.731	66	0.334	0.681
7	0.362	0.710	37	0.366	0.734	67	0.343	0.688
8	0.382	0.722	38	0.388	0.756	68	0.365	0.703
9	0.423	0.728	39	0.432	0.773	69	0.411	0.725
10	0.469	0.737	40	0.488	0.799	70	0.465	0.743
11	0.543	0.929	41	0.567	0.956	71	0.540	0.925
12	0.496	0.905	42	0.527	0.928	72	0.496	0.890
13	0.466	0.865	43	0.504	0.894	73	0.471	0.859
14	0.451	0.842	44	0.476	0.854	74	0.437	0.826
15	0.421	0.810	45	0.451	0.843	75	0.415	0.799
16	0.407	0.789	46	0.425	0.814	76	0.391	0.776
17	0.381	0.761	47	0.393	0.799	77	0.368	0.750
18	0.370	0.744	48	0.384	0.766	78	0.344	0.729
19	0.360	0.725	49	0.365	0.743	79	0.328	0.707
20	0.339	0.703	50	0.363	0.727	80	0.312	0.686
21	0.521	0.986	51	0.551	1.047	81	0.473	0.953
22	0.499	0.941	52	0.527	1.001	82	0.456	0.914
23	0.480	0.901	53	0.507	0.955	83	0.445	0.876
24	0.466	0.867	54	0.494	0.918	84	0.435	0.839
25	0.458	0.848	55	0.480	0.885	85	0.424	0.808
26	0.446	0.828	56	0.469	0.853	86	0.412	0.787
27	0.431	0.811	57	0.453	0.833	87	0.410	0.774
28	0.429	0.796	58	0.448	0.816	88	0.406	0.759
29	0.435	0.785	59	0.452	0.806	89	0.419	0.752
30	0.441	0.782	60	0.456	0.802	90	0.423	0.750

Nota: n= Muestra de estudio; $e_{m\acute{i}n}$ = Relación de vacíos mínimo; $e_{m\acute{a}x}$ = Relación de vacíos máximo. (Elaboración propia).

• Paso 4: Lectura del p-valor

Para obtener la lectura del p-valor para la relación entre variables que se esté analizando, se hace útil emplear el programa estadístico informático SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), el cual permite obtener el p-valor; dato que ayuda a decidir a la hora de tomar una decisión, como el de aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0).

A continuación, en las Tablas 26 y 27, se presenta los resultados de la prueba de hipótesis de correlación para $e_{m\acute{i}n}$ y $e_{m\acute{a}x}$, parámetros fundamentales para la determinación del ángulo de fricción. Teniendo en consideración que estos resultados fueron obtenidos de acuerdo al programa SPSS de la versión 22.0 del año 2013.

Tabla 26.

Resultados de la prueba de hipótesis para e_{\min} (correlación)

		log (Coeficiente de Uniformidad, C_U)	log (Relación de Vacíos Mínimo, e_{\min})
log (Coeficiente de Uniformidad, C_U)	Correlación de Pearson	1	-.943*
	Sig. (bilateral)		$6.799 \times 10^{-44} = .000$
	n	90	90
log (Relación de Vacíos Mínimo, e_{\min})	Correlación de Pearson	-.943*	1
	Sig. (bilateral)	$6.799 \times 10^{-44} = .000$	
	n	90	90

Nota: n= Tamaño de muestra. Adaptado del SPSS v.22. (Elaboración propia con SPSS v.22).

* $p < .001$.

Tabla 27.

Resultados de la prueba de hipótesis para e_{\max} (correlación)

		Relación de Vacíos Mínimo, e_{\min}	Relación de Vacíos Máximo, e_{\max}
log (Relación de Vacíos Mínimo, e_{\min})	Correlación de Pearson	1	.918*
	Sig. (bilateral)		$4.411 \times 10^{-37} = .000$
	n	90	90
log (Relación de Vacíos Máximo, e_{\max})	Correlación de Pearson	-.918*	1
	Sig. (bilateral)	$4.411 \times 10^{-37} = .000$	
	n	90	90

Nota: n= Tamaño de muestra. Adaptado del SPSS v.22. (Elaboración propia con SPSS v.22).

* $p < .001$.

Entonces en concordancia con las Tabla 26 y 27, presentadas anteriormente, es posible obtener Sig. (bilateral), el cual es la significación muestral de la hipótesis nula (H_0), es decir el p-valor, tanto para e_{\min} y e_{\max} .

Para la relación de vacíos mínimo se obtiene un p-valor= 6.799×10^{-44} , y para la relación de vacíos máximo se obtiene un p-valor= 4.411×10^{-37} , en ambos casos presenta un $p < .001$. Seguidamente en las Figuras 76 y 77, se exhibe la correlación como prueba de hipótesis para e_{\min} y e_{\max} .

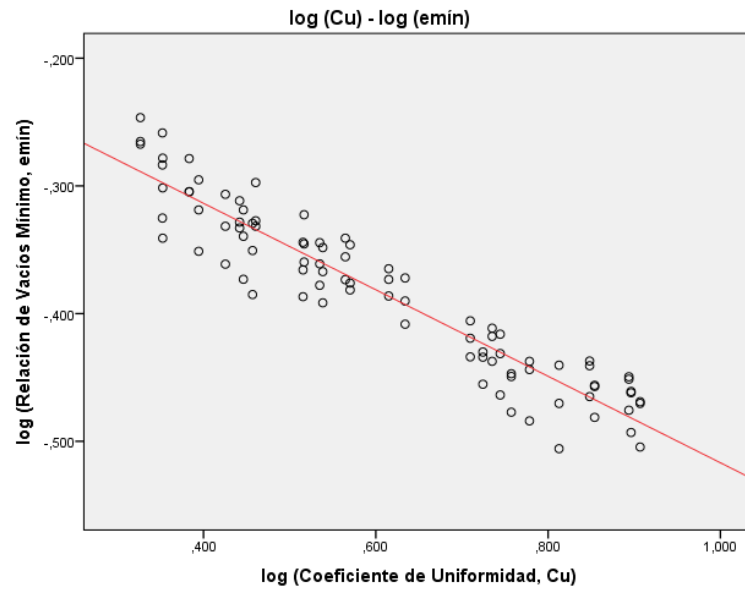


Figura 76. Correlación como prueba de hipótesis para e_{\min} . (Elaboración propia con SPSS v.22).

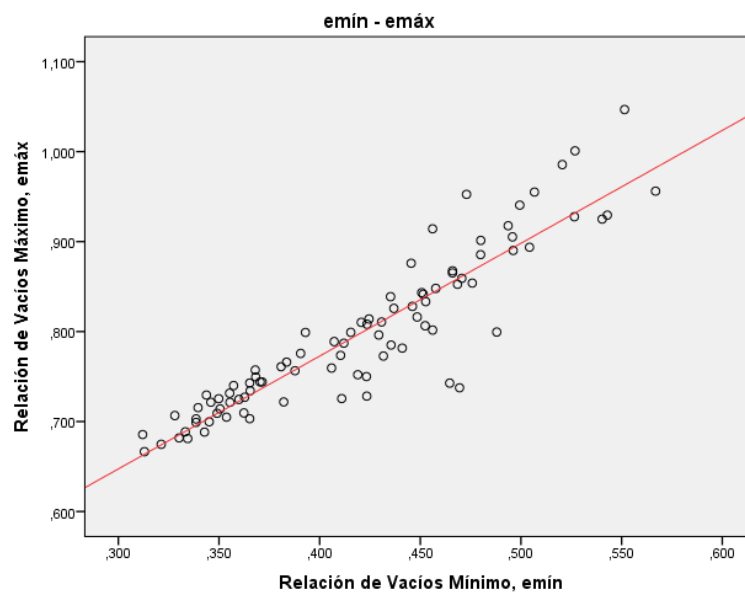


Figura 77. Correlación como prueba de hipótesis para e_{\max} . (Elaboración propia con SPSS v.22).

• Paso 5: Toma de Decisión

Para la relación de vacíos mínimo el “p-valor < .001” < “ $\alpha = .05$ ”. Además, se encontró una asociación lineal estadísticamente significativa, de correlación negativa muy fuerte e inversamente proporcional ($r = -.943$ y $p < .05$), entre la relación de vacíos mínimo y el coeficiente de uniformidad.

Para la relación de vacíos máximo el “p-valor < .001” < “ α = .05”. Además, se encontró una asociación lineal estadísticamente significativa, de correlación positiva muy fuerte y directamente proporcional ($r = .918$ y $p < .05$), entre la relación de vacíos máximo y la relación de vacíos mínimo.

En ambos casos, tanto e_{\min} como e_{\max} , el p-valor < α , de esta manera se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; es decir, se rechaza la hipótesis nula al afirmar que NO existe correlación entre las variables. Y se acepta la hipótesis alternativa, al afirmar que: “Es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del ángulo de fricción (a partir de e_{\min} y e_{\max}) en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional”.

4.6.2.2. Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (Correlación para el Coeficiente de Permeabilidad)

La hipótesis específica de la presente tesis para el coeficiente de permeabilidad, está planteado de la siguiente manera:

“Es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional”.

• Paso 1: Formulación de Hipótesis

H_0 : “NO es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional”. O puede ser formulado H_0 como: “NO existe correlación entre las variables”.

H_1 : “Es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional”. O puede ser formulado H_0 como: “Existe correlación entre las variables”.

• Paso 2: Establecer en Nivel de Significancia

El nivel de significancia queda establecido en .05 (5%), para la prueba de hipótesis de correlación del coeficiente de permeabilidad (k).

• **Paso 3: Elección del Estadístico de Prueba**

El estadístico de prueba queda elegido por el coeficiente de Pearson y regresión lineal, ya que es una prueba estadística paramétrica. Esta prueba es aplicada también para el coeficiente de permeabilidad.

Enseguida se muestra los datos estadísticos para la prueba de hipótesis de k, mediante la Tabla 28.

Tabla 28.
*Datos estadísticos para
la prueba de hipótesis
de k (correlación)*

n	D₁₀	k
1	0.150	0.00362
2	0.167	0.00455
3	0.186	0.00564
4	0.208	0.00869
5	0.235	0.01030
6	0.287	0.02290
7	0.377	0.03017
8	0.550	0.04876
9	0.790	0.06063
10	1.260	0.13569
11	0.360	0.05298
12	0.316	0.03111
13	0.264	0.02475
14	0.232	0.01910
15	0.205	0.01403
16	0.178	0.01049
17	0.150	0.00810
18	0.139	0.00614
19	0.130	0.00490
20	0.122	0.00353
21	0.107	0.00356
22	0.113	0.00359
23	0.119	0.00390
24	0.126	0.00430
25	0.135	0.00473
26	0.145	0.00625
27	0.164	0.00752
28	0.188	0.00960
29	0.214	0.01110
30	0.217	0.02121

Nota: n= Tamaño de muestra; k= Coeficiente de permeabilidad; D₁₀= Diámetro efectivo. (Elaboración Propia).

- **Paso 4: Lectura del p-valor**

Para obtener la lectura del p-valor para la relación entre variables que se esté analizando, en este caso también se hace útil emplear el programa estadístico informático SPSS; como se sabe este permite obtener el p-valor, dato que ayuda a decidir a la hora de tomar una decisión, como el de aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0).

A continuación, en la Tabla 29 se presentan los resultados de la prueba de hipótesis de correlación para k , teniendo también en consideración que los estos resultados fueron obtenidos de acuerdo al programa SPSS de la versión 22.0 del año 2013.

Tabla 29.

Resultados de la prueba de hipótesis para k (correlación)

		Diámetro Efectivo, D_{10} (mm)	Coefficiente de Permeabilidad, k (cm/s)
Diámetro Efectivo, D_{10} (mm)	Correlación de Pearson	1	.973*
	Sig. (bilateral)		$2.151 \times 10^{-19} = .000$
	n	30	30
Coefficiente de Permeabilidad, k (cm/s)	Correlación de Pearson	-.973*	1
	Sig. (bilateral)	$2.151 \times 10^{-19} = .000$	
	n	30	30

Nota: n= Tamaño de muestra. Adaptado del SPSS v.22. (Elaboración propia con SPSS v.22).

* $p < .001$.

Entonces en concordancia con la Tabla 29, presentada anteriormente, es posible obtener Sig. (bilateral), el cual es la significación muestral de la hipótesis nula (H_0), es decir el p-valor, para k .

Para el coeficiente de permeabilidad se obtiene un p-valor= 2.151×10^{-19} , presentando un $p < .001$. Seguidamente en la Figura 78, se exhibe la correlación como prueba de hipótesis para k .

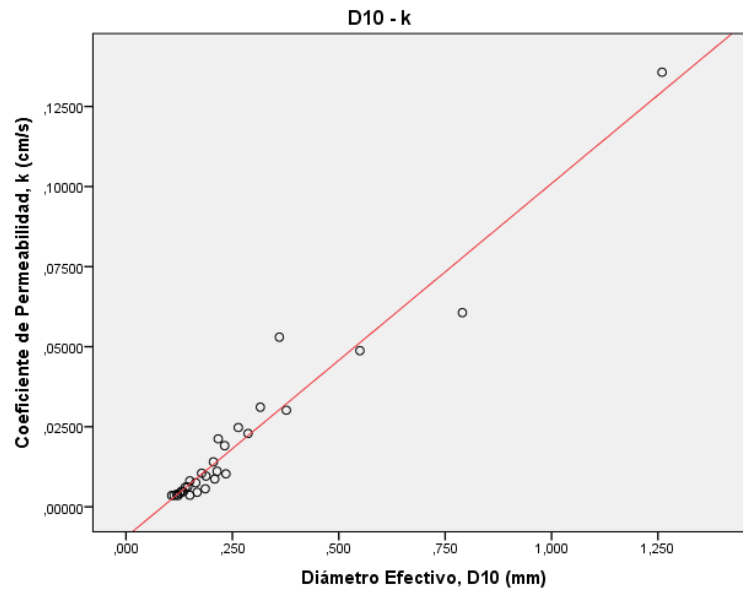


Figura 78. Correlación como prueba de hipótesis para k. (Elaboración propia con SPSS v.22).

• Paso 5: Toma de Decisión

Entonces para la prueba de hipótesis del coeficiente de permeabilidad el “p-valor < .001” < “ $\alpha = .05$ ”. Además, se encontró una asociación lineal estadísticamente significativa, de correlación positiva muy fuerte y directamente proporcional ($r = .973$ y $p < .05$), entre la el coeficiente de permeabilidad y el diámetro efectivo.

En el presente caso, el $p\text{-valor} < \alpha$, de esta manera se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; es decir, se rechaza la hipótesis nula al afirmar que NO existe correlación entre las variables. Y se acepta la hipótesis alternativa, al afirmar que: “Es posible obtener una ecuación de regresión para la determinación del coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado mediante un análisis correlacional”.

4.6.2.3. Prueba de Hipótesis Específica de Investigación (Confiabilidad de Resultados)

La hipótesis específica de la presente tesis para la confiabilidad de resultados para el ángulo de fricción y el coeficiente de permeabilidad, está planteado de la siguiente manera:

“Los valores obtenidos mediante la metodología planteada proporcionan resultados confiables al ser verificados con los valores obtenidos mediante el ensayo de la densidad relativa para el ángulo de fricción y el ensayo de permeabilidad de carga constante para el coeficiente de permeabilidad”.

- **Paso 1: Formulación de Hipótesis**

H_0 : “Los valores obtenidos mediante la metodología planteada proporcionan resultados confiables al ser verificados con los valores obtenidos mediante el ensayo de la densidad relativa para el ángulo de fricción y el ensayo de permeabilidad de carga constante para el coeficiente de permeabilidad, al NO presentar diferencia significativa entre las muestras relacionadas”.

$$H_0: \mu = 0$$

H_1 : “Los valores obtenidos mediante la metodología planteada proporcionan resultados confiables al ser verificados con los valores obtenidos mediante el ensayo de la densidad relativa para el ángulo de fricción y el ensayo de permeabilidad de carga constante para el coeficiente de permeabilidad; sin embargo, los resultados pueden ser desconfiables, al presentar diferencia significativa entre las muestras relacionadas”.

$$H_1: \mu \neq 0$$

- **Paso 2: Establecer en Nivel de Significancia**

El nivel de significancia queda establecido en .05 (5%), para la prueba de hipótesis de confiabilidad para el ángulo de fricción (ϕ' , a partir de e_{\min} y e_{\max}) como para el coeficiente de permeabilidad (k).

- **Paso 3: Elección del Estadístico de Prueba**

El estadístico de prueba queda elegido por la prueba t para muestras relacionadas, al ser una prueba estadística paramétrica. De igual modo esta prueba es aplicada tanto para el ángulo de fricción (e_{\min} y e_{\max}) como para el coeficiente de permeabilidad.

Enseguida se muestra los datos estadísticos para la prueba de hipótesis del ángulo de fricción (e_{\min} y e_{\max}) mediante las Tablas 30 y 31 para el coeficiente de permeabilidad mediante la Tabla 32.

Tabla 30.

Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de e_{\min} (confiabilidad)

n	$e_{\min-M}$	$e_{\min-E}$	n	$e_{\min-M}$	$e_{\min-E}$	n	$e_{\min-M}$	$e_{\min-E}$
1	0.371	0.377	31	0.368	0.377	61	0.351	0.377
2	0.355	0.368	32	0.357	0.368	62	0.333	0.368
3	0.349	0.341	33	0.350	0.341	63	0.330	0.341
4	0.345	0.330	34	0.346	0.330	64	0.321	0.330
5	0.339	0.327	35	0.340	0.327	65	0.313	0.327
6	0.354	0.330	36	0.355	0.330	66	0.334	0.330
7	0.362	0.342	37	0.366	0.342	67	0.343	0.342
8	0.382	0.374	38	0.388	0.374	68	0.365	0.374
9	0.423	0.411	39	0.432	0.411	69	0.411	0.411
10	0.469	0.470	40	0.488	0.470	70	0.465	0.470
11	0.543	0.514	41	0.567	0.514	71	0.540	0.514
12	0.496	0.492	42	0.527	0.492	72	0.496	0.492
13	0.466	0.463	43	0.504	0.463	73	0.471	0.463
14	0.451	0.443	44	0.476	0.443	74	0.437	0.443
15	0.421	0.425	45	0.451	0.425	75	0.415	0.425
16	0.407	0.405	46	0.425	0.405	76	0.391	0.405
17	0.381	0.382	47	0.393	0.382	77	0.368	0.382
18	0.370	0.371	48	0.384	0.371	78	0.344	0.371
19	0.360	0.362	49	0.365	0.362	79	0.328	0.362
20	0.339	0.352	50	0.363	0.352	80	0.312	0.352
21	0.521	0.504	51	0.551	0.504	81	0.473	0.504
22	0.499	0.504	52	0.527	0.504	82	0.456	0.504
23	0.480	0.488	53	0.507	0.488	83	0.445	0.488
24	0.466	0.476	54	0.494	0.476	84	0.435	0.476
25	0.458	0.469	55	0.480	0.469	85	0.424	0.469
26	0.446	0.465	56	0.469	0.465	86	0.412	0.465
27	0.431	0.444	57	0.453	0.444	87	0.410	0.444
28	0.429	0.436	58	0.448	0.436	88	0.406	0.436
29	0.435	0.437	59	0.452	0.437	89	0.419	0.437
30	0.441	0.427	60	0.456	0.427	90	0.423	0.427

Nota: n= Tamaño de muestra; $e_{\min-M}$ = Relación de vacíos mínimo medido; $e_{\min-E}$ = Relación de vacíos mínimo estimado. (Elaboración propia).

Tabla 31.

Datos estadísticos para la prueba de hipótesis de e_{\max} (confiabilidad)

n	$e_{\max-M}$	$e_{\max-E}$	n	$e_{\max-M}$	$e_{\max-E}$	n	$e_{\max-M}$	$e_{\max-E}$
1	0.744	0.737	31	0.757	0.733	61	0.714	0.711
2	0.721	0.717	32	0.740	0.719	62	0.689	0.689
3	0.709	0.709	33	0.725	0.710	63	0.682	0.685
4	0.700	0.704	34	0.721	0.705	64	0.675	0.674
5	0.699	0.696	35	0.715	0.697	65	0.666	0.664
6	0.705	0.715	36	0.731	0.717	66	0.681	0.691
7	0.710	0.726	37	0.734	0.730	67	0.688	0.701

(continúa)

n	e _{máx-M}	e _{máx-E}	n	e _{máx-M}	e _{máx-E}	n	e _{máx-M}	e _{máx-E}
8	0.722	0.750	38	0.756	0.757	68	0.703	0.729
9	0.728	0.802	39	0.773	0.813	69	0.725	0.787
10	0.737	0.860	40	0.799	0.883	70	0.743	0.854
11	0.929	0.952	41	0.956	0.982	71	0.925	0.949
12	0.905	0.893	42	0.928	0.931	72	0.890	0.893
13	0.865	0.856	43	0.894	0.904	73	0.859	0.861
14	0.842	0.837	44	0.854	0.868	74	0.826	0.819
15	0.810	0.799	45	0.843	0.836	75	0.799	0.792
16	0.789	0.782	46	0.814	0.804	76	0.776	0.761
17	0.761	0.749	47	0.799	0.764	77	0.750	0.733
18	0.744	0.736	48	0.766	0.752	78	0.729	0.702
19	0.725	0.722	49	0.743	0.729	79	0.707	0.683
20	0.703	0.696	50	0.727	0.726	80	0.686	0.663
21	0.986	0.924	51	1.047	0.963	81	0.953	0.864
22	0.941	0.897	52	1.001	0.932	82	0.914	0.843
23	0.901	0.873	53	0.955	0.907	83	0.876	0.830
24	0.867	0.856	54	0.918	0.890	84	0.839	0.817
25	0.848	0.845	55	0.885	0.873	85	0.808	0.802
26	0.828	0.831	56	0.853	0.859	86	0.787	0.788
27	0.811	0.811	57	0.833	0.839	87	0.774	0.786
28	0.796	0.810	58	0.816	0.834	88	0.759	0.780
29	0.785	0.817	59	0.806	0.839	89	0.752	0.797
30	0.782	0.824	60	0.802	0.843	90	0.750	0.802

Nota: n= Tamaño de muestra; e_{máx-M}= Relación de vacíos máximo medido; e_{máx-E}= Relación de vacíos máximo estimado. (Elaboración propia).

Tabla 32.
*Datos estadísticos para
la prueba de hipótesis
de k (confiabilidad)*

n	k _M	k _E
1	0.00362	0.00713
2	0.00455	0.00900
3	0.00564	0.01113
4	0.00869	0.01358
5	0.01030	0.01649
6	0.02290	0.02223
7	0.03017	0.03216
8	0.04876	0.05123
9	0.06063	0.07782
10	0.13569	0.12962
11	0.05298	0.03035
12	0.03111	0.02540
13	0.02475	0.01969
14	0.01910	0.01616
15	0.01403	0.01322
16	0.01049	0.01018
17	0.00810	0.00713
18	0.00614	0.00597
19	0.00490	0.00496
20	0.00353	0.00408
21	0.00356	0.00242
22	0.00359	0.00302

(continúa)

n	k _M	k _E
23	0.00390	0.00371
24	0.00430	0.00450
25	0.00473	0.00544
26	0.00625	0.00658
27	0.00752	0.00863
28	0.00960	0.01132
29	0.01110	0.01419
30	0.02121	0.01448

Nota: n= Tamaño de muestra; k_M= Coeficiente de permeabilidad medido; k_E= Coeficiente de permeabilidad estimado. (Elaboración Propia).

• Paso 4: Lectura del p-valor

Para obtener la lectura del p-valor para la confiabilidad de resultados entre las muestras que se esté analizando, se hace útil también emplear el programa estadístico informático SPSS; como se sabe este permite obtener el p-valor, dato que ayuda a decidir a la hora de tomar una decisión, como el de aceptar o rechazar la hipótesis nula (H₀).

A continuación, en la Tablas 33, 34 y 35, se presentan los resultados de la prueba de hipótesis de confiabilidad para el ángulo de fricción por medio de e_{\min} y e_{\max} , y para el coeficiente de permeabilidad, teniendo también en consideración que los estos resultados fueron obtenidos de acuerdo al programa SPSS v.22.0 – 2013.

Tabla 33.

Resultados de la prueba de hipótesis para e_{\min} (confiabilidad)

	Diferencias Emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación Estándar	Media de error Estándar	95% de Intervalo de Confianza de la Diferencia				
				Inferior	Superior			
Relación de Vacíos Mínimo Medido ($e_{\min-M}$) – Relación de Vacíos Mínimo Estimado ($e_{\min-E}$)	0.000564	0.021468	0.002263	-0.003933	0.005060	0.249	89	.804

Nota: t= Estadístico de prueba; gl= Grados de libertad. (Elaboración propia con SPSS v.22).

Tabla 34.

Resultados de la prueba de hipótesis para $e_{m\acute{a}x}$ (confiabilidad)

	Diferencias Emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación Estándar	Media de error Estándar	95% de Intervalo de Confianza de la Diferencia				
				Inferior	Superior			
Relación de Vacíos Máximo Medido ($e_{\text{máx-M}}$) – Relación de Vacíos Máximo Estimado ($e_{\text{máx-E}}$)	7.772×10^{-16}	0.034351	0.003621	-0.007195	0.007195	2.146×10^{-13}	89	1.000

Nota: t= Estadístico de prueba; gl= Grados de libertad. (Elaboración propia con SPSS v.22).

Tabla 35.

Resultados de la prueba de hipótesis para k (confiabilidad)

	Diferencias Emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación Estándar	Media de error Estándar	95% de Intervalo de Confianza de la Diferencia				
				Inferior	Superior			
Coefficiente de Permeabilidad Medido (k_M) – Coeficiente de Permeabilidad Estimado (k_E)	-1.041x10 ⁻¹⁷	0.00618475	0.00112918	-0.00230942	0.00230942	-9.218x10 ⁻¹⁵	29	1.000

Nota: t= Estadístico de prueba; gl= Grados de libertad. (Elaboración propia con SPSS v.22).

Entonces en relación con las Tablas 33, 34 y 35, presentadas anteriormente, es posible obtener Sig. (bilateral), el cual como se había mencionado anteriormente, es la significación muestral de la hipótesis nula (H_0), es decir el p-valor, tanto para el ángulo de fricción ($e_{m\acute{a}x}$ y $e_{m\acute{a}x}$) y para el coeficiente de permeabilidad.

Para el caso del ángulo de fricción representado por la relación de vacíos mínimo y la relación de vacíos máximo, se obtiene un p-valor= .804 y un p-valor= 1.000, respectivamente.

Y para el coeficiente de permeabilidad se obtiene un p-valor= 1.000. En todos los casos se presenta un $p > .05$. Seguidamente en las Figuras 79, 80 y 81, se exhibe la comparación de resultados entre las muestras relacionadas para la relación de vacíos mínimo, para la relación de vacíos máximo y para el coeficiente de permeabilidad, correspondientemente.

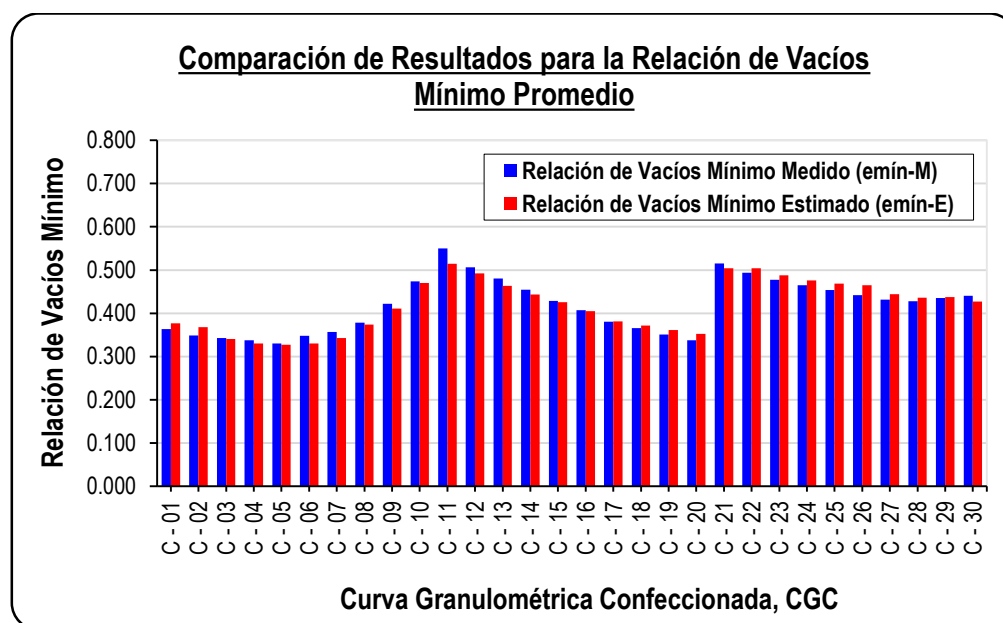


Figura 79. Comparación de resultados de e_{min} -medido y e_{min} -estimado. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

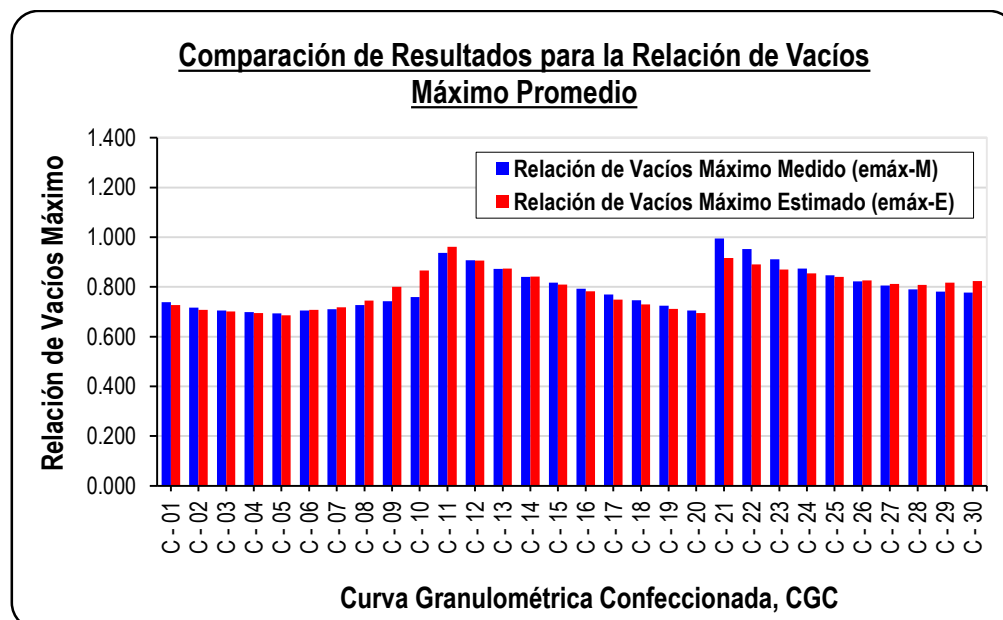


Figura 80. Comparación de resultados de e_{max} -medido y e_{max} -estimado. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

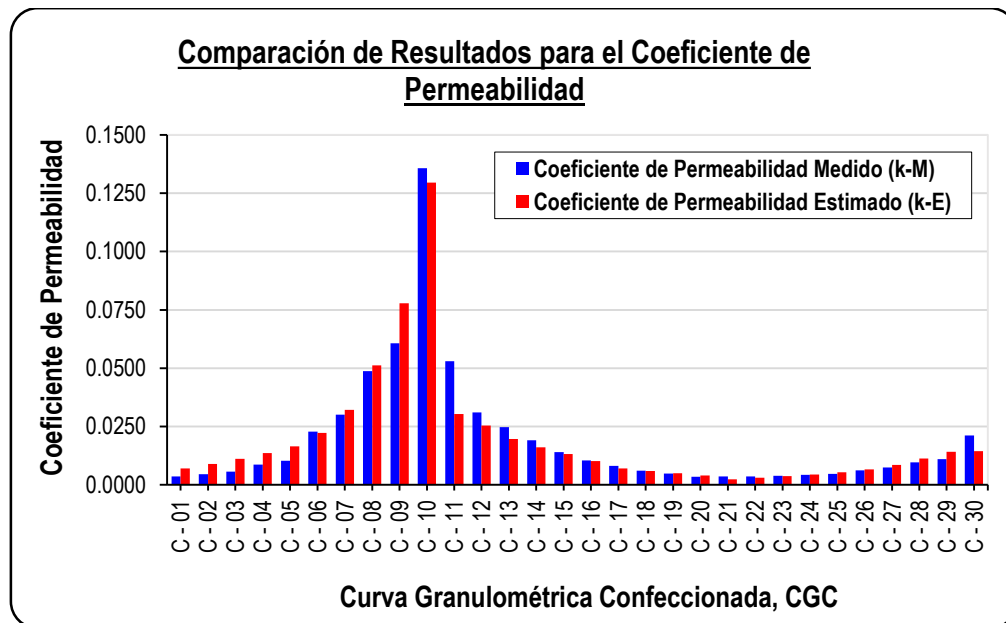


Figura 81. Comparación de resultados de k-medido y k-estimado. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

• Paso 5: Toma de Decisión

En el caso del ángulo de fricción, la relación de vacíos mínimo el “p-valor= .804” > “ $\alpha= .05$ ” y la relación de vacíos máximo el “p-valor= 1.000” > “ $\alpha= .05$ ”. Y para el caso del coeficiente de permeabilidad de igual forma el “p-valor= 1.000” > “ $\alpha= .05$ ”.

En ambos casos, tanto para el ángulo de fricción y para el coeficiente de permeabilidad, el $p\text{-valor} > \alpha$, de esta manera se acepta H_0 y se rechaza H_1 ; es decir, se acepta la hipótesis nula al afirmar que los valores obtenidos mediante la metodología planteada proporcionan resultados confiables al ser verificados con los valores obtenidos mediante el ensayo de la densidad relativa para el ángulo de fricción y el ensayo de permeabilidad de carga constante para el coeficiente de permeabilidad, al NO presentar diferencia significativa entre las muestras relacionadas. Y se rechaza la hipótesis alternativa, al afirmar que presenta diferencia significativa entre las muestras relacionadas.

De esta forma entonces se logra demostrar la prueba de las hipótesis específicas de la presente tesis, que consecuentemente también se demuestra la hipótesis general de investigación al plantearse que: “Es factible proponer una metodología simple, accesible y confiable para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado”.

4.7. Verificación de Resultados mediante Ensayos Especiales

Es oportuno señalar en este ítem, que se consideró 03 curvas granulométricas confeccionadas (01 de textura abierta, 01 de textura media y 01 de textura cerrada), para la verificación de resultados del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad.

4.7.1. Verificación de Resultados para determinar el Ángulo de Fricción

No obstante, ha sido posible verificar la densidad relativa mediante dos métodos: A través de la Ecuación 20 planteada por Terzaghi y Peck (1973), el cual está en función de la relación de vacíos mínimo, máximo y natural, las mismas relaciones excepto la natural, que fueron determinadas mediante la Ecuación 74 y 86, respectivamente (producto de la presente tesis), y otro método por medio del ensayo de densidades máximas y mínimas. Cabe precisar que, para la determinación de la relación de vacíos natural, fue optada por la densidad natural de una arena promedio (Ver Anexo E).

Tabla 36.
Resultados obtenidos de la densidad relativa por método (verificación)

MÉTODO	DENSIDAD RELATIVA (%)		
	D _{R-1}	D _{R-2}	D _{R-3}
TESIS	22.16	41.52	65.92
TERZAGHI Y PECK	29.98	50.09	69.98

Nota: D_{R-1}, D_{R-2}, y D_{R-3}= Prueba 1, 2 y 3, de textura abierta, media y cerrada, respectivamente. (Elaboración propia).

Para el ángulo de fricción se verificó mediante tres métodos: Por medio de la Ecuación 89 (producto de la presente tesis), según el criterio de Meyerhof (1956) dado por la Ecuación 33, y mediante el ensayo de corte directo. A continuación, se exhibe la Tabla 37 donde se muestra los resultados obtenidos del ángulo de fricción por cada método.

Tabla 37.
Resultados obtenidos del ángulo de fricción por método (verificación)

MÉTODO	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)		
	ϕ'_1	ϕ'_2	ϕ'_3
TESIS	33.32	36.23	39.89
MEYERHOF	34.50	37.51	40.50
CORTE DIRECTO	35.44	39.12	41.69

Nota: ϕ'_1 , ϕ'_2 , y ϕ'_3 = Prueba 1, 2 y 3, de textura abierta, media y cerrada, respectivamente. (Elaboración propia).

Se presenta enseguida la Figura 82, donde denota la variación del ángulo de fricción respecto a las curvas granulométricas confeccionadas y una variación mínima por el método de determinación, ensayadas con muestras de arena, extraída únicamente de la cantera Unocola (solo por cuestión de verificación de resultados).

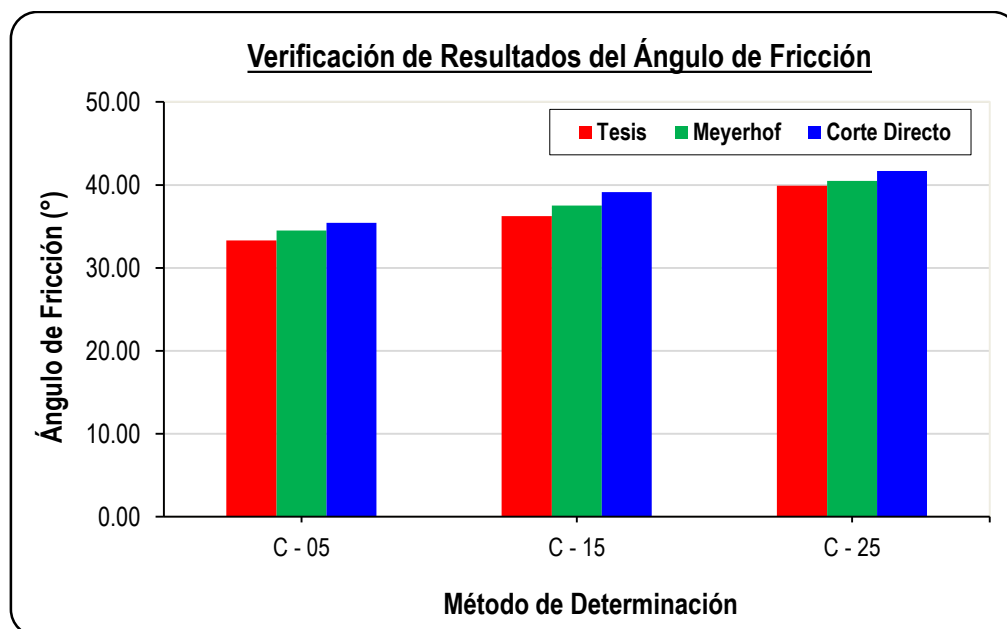


Figura 82. Verificación de resultados para determinar el ángulo de fricción. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

Los resultados obtenidos del ángulo de fricción de las curvas granulométricas confeccionadas, dividida por su textura de curva granulométrica (textura abierta, textura media y textura cerrada), se puede apreciar en el Anexo E.

4.7.2. Verificación de Resultados para determinar el Coeficiente de Permeabilidad

Por último, ha sido posible también verificar el coeficiente de permeabilidad por tres métodos: Por medio de la Ecuación 94 (producto de la presente tesis), y según el ensayo de permeabilidad de carga constante a través de un permeámetro fabricado y otro normado. Todo ello aplicado a 01 curva granulométrica confeccionada, tal como se muestra en los resultados obtenidos del coeficiente de permeabilidad por cada método, a través de la Tabla 38 presentada líneas abajo.

Tabla 38.

Resultados obtenidos de coeficiente de permeabilidad por método (verificación)

MÉTODO	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/s)
	k_1
TESIS	0.00371
PERMEÁMETRO FABRICADO	0.00390
PERMEÁMETRO NORMADO	0.00362

Nota: k_1 = Prueba 1. (Elaboración propia).

Asimismo, se puede apreciar en la Figura 83, que existe una variación mínima del coeficiente de permeabilidad respecto al método de determinación, ensayadas de igual forma con muestras de arena de la cantera Unocolla (solo por cuestión de verificación de resultados).

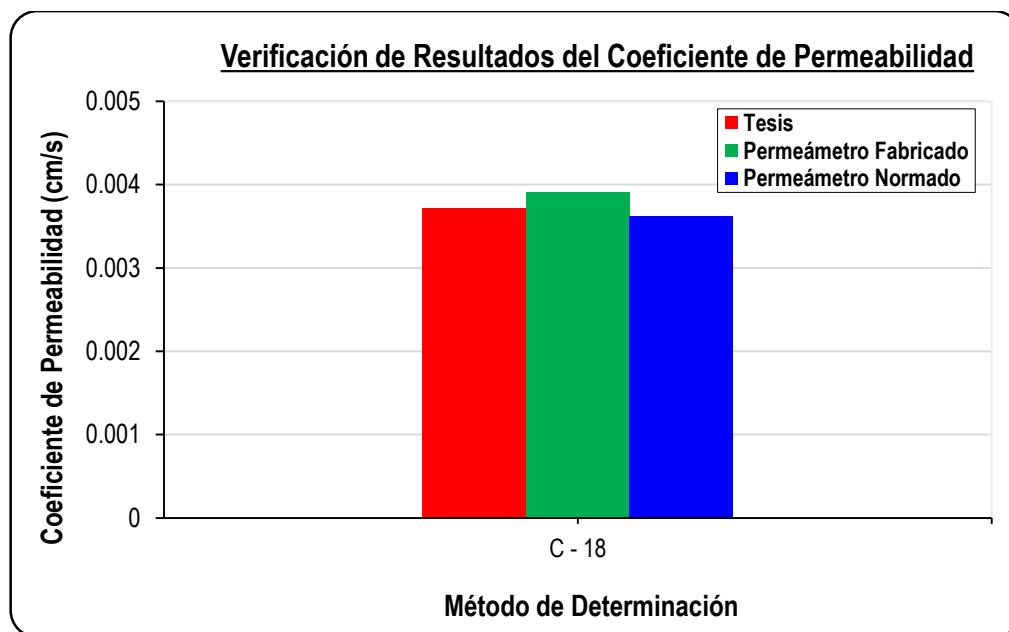


Figura 83. Verificación de resultados para determinar el coeficiente de permeabilidad. (Elaboración propia con Microsoft Excel v.15).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A continuación, se presenta las siguientes conclusiones a las que se ha llegado con el desarrollo de la tesis:

Los suelos arenosos ante sollicitaciones externas, como por ejemplo cargas de: edificaciones, puentes, carreteras, túneles o presas, experimentan fuerzas de rozamiento entre partículas y para su análisis está representado por el ángulo de fricción.

Los suelos arenosos también tienen la capacidad de drenar, parámetro que está representado por el coeficiente de permeabilidad, definido como la facilidad que tiene el suelo de permitirle al agua que lo atraviese.

Para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en suelos arenosos, existen diversas metodologías tanto en campo como en laboratorio, las mismas que son de poca disponibilidad de laboratorios al deberse a la complejidad y al costo que implica realizar este tipo de ensayos.

La aplicación de la estadística inferencial, en particular la teoría de correlación, es una buena alternativa de solución a los problemas que se tiene a la hora de determinar los parámetros geotécnicos, dado que es posible correlacionar parámetros que pueden ser aplicados de manera confiable en el diseño de cimentaciones u otro proyecto a fin.

A nivel mundial reconocidos investigadores mencionan que el ángulo de fricción como el coeficiente de permeabilidad tienen relación con las características físicas de las arenas, como son: la distribución granulométrica, el tamaño de las partículas y la relación de vacíos; entre las principales características.

Los suelos arenosos mal graduados (SP), pueden ser encontrados en gran parte de la corteza terrestre a distintas profundidades del subsuelo. A nivel nacional este tipo de suelo ha sido objeto de estudio en varias investigaciones, al tener que estar en contacto muy a menudo con ellas. Una muestra de esto, es que en el campus de la Universidad

Peruana Unión – Filial Juliaca, aproximadamente el 65% de área, puede encontrarse este tipo de suelo.

La presente tesis ostenta diferentes clasificaciones de investigación, presentando un enfoque cuantitativo, que a la vez adopta un nivel explicativo – correlacional, y es de un diseño experimental.

Asimismo, se identifica las variables de estudio, contando con variables independientes (coeficiente de uniformidad, diámetro efectivo, gravedad específica y relación de vacíos natural); variables dependientes (ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad); y una variable interviniente (textura de curva granulométrica).

La población de estudio viene representada por medio de curvas granulométricas que presenten diversas texturas en arenas limpias de toda la corteza terrestre. Y en cuanto se refiere a la muestra de estudio, viene dada por curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada, donde se busca determinar el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas de las arenas limpias.

Se vio por conveniente representar a la muestra de estudio, mediante curvas granulométricas confeccionadas a partir del ensayo de análisis granulométrico inverso (adaptado por el tesista en relación a la norma ASTM D422-98), las propias que han sido elaboradas en base a curvas granulométricas típicas que presenten textura abierta, media y cerrada de arenas limpias.

En cuanto a la obtención de muestras de arenas limpias para la confección de 30 curvas granulométricas confeccionadas (10 de textura abierta, 10 de textura media y 10 de textura cerrada), se propuso es estudio de las canteras Maravillas, Unocolla e Isla, para el ángulo de fricción ($n= 90$) y el estudio de la cantera Unocolla para el coeficiente de permeabilidad ($n= 30$).

Una vez obtenida las muestras confeccionadas de arenas limpias, se han realizado los siguientes ensayos: densidad mínima y máxima, gravedad específica y permeabilidad de carga constante, esto con el objetivo de determinar la relación de vacíos mínima y máxima (ángulo de fricción), y el coeficiente de permeabilidad.

A través de un análisis de regresión, realizado por el programa Microsoft Excel v.15.0 – 2013, se obtiene una ecuación para determinar la relación de vacíos mínimo, en función al coeficiente de uniformidad; influenciado por la gravedad específica y la textura de curva granulométrica. Esta ecuación de regresión tuvo un mejor ajuste para una correlación potencial.

$$e_{\min} = \frac{0.664}{C_U^{0.339}}$$

A través de un análisis de regresión, realizado también por el programa Microsoft Excel v.15.0 – 2013, se obtiene una ecuación para determinar la relación de vacíos máximo, en función a la relación de vacíos mínimo, que al mismo tiempo esta relación puede ser sustituida por el coeficiente de uniformidad; influenciado también por la gravedad específica y la textura de curva granulométrica. Esta ecuación de regresión tuvo un mejor ajuste para una correlación lineal.

$$e_{\max} = 0.271 + \frac{0.832}{C_U^{0.339}}$$

Para la determinación del ángulo de fricción se tuvo en consideración la expresión planteada por Meyerhof, la misma que está en función a la densidad relativa; que puede ser calculada a través de la expresión planteada por Terzaghi (1973), la misma que está en función de la relación de vacíos natural, mínima y máxima. Entonces al obtener ecuaciones para la determinación de estas dos últimas relaciones, se procedió a reemplazar valores obteniendo la siguiente ecuación, la cual está en función a la relación de vacíos natural y al coeficiente de uniformidad. Cumpliendo de esta manera con el primer objetivo específico de la tesis.

$$\varphi' = 30^\circ + 0.15 * \left[\frac{(0.271 - e)C_U^{0.349} + 0.832}{0.271C_U^{0.349} + 0.169} \right]$$

Para la determinación del coeficiente de permeabilidad, se realizó un análisis de regresión por medio del programa Microsoft Excel v.15.0 – 2013, en donde se obtiene una ecuación la cual está en función al diámetro efectivo; influenciado por la relación de vacíos natural y la textura de curva granulométrica. Esta ecuación de regresión tuvo un mejor

ajuste para una correlación lineal. Cumpliendo de esta manera con el segundo objetivo específico de la tesis.

$$k = 0.11D_{10} - 0.0094$$

La prueba de hipótesis de correlación para el primer objetivo específico, tuvo como resultado mediante el programa SPSS v.22.0 – 2013; que para la relación de vacíos mínimo y máximo el p-valor < .05, convirtiéndolo estadísticamente significativa la relación entre la e_{\min} y C_u , y la relación entre e_{\max} y $e_{\min} = f(C_u)$. En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alterna o del investigador; haciéndolo válido el uso de la ecuación para la determinación del ángulo de fricción.

La prueba de hipótesis de correlación para el segundo objetivo específico, tuvo como resultado del mismo modo mediante el programa SPSS v.22.0 – 2013; que para el coeficiente de permeabilidad el p-valor < .05, convirtiéndolo estadísticamente significativa la relación entre k y D_{10} . En consecuencia, también se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alterna o del investigador; haciéndolo válido el uso de la ecuación para la determinación del coeficiente de permeabilidad.

La prueba de hipótesis de confiabilidad para el tercer objetivo específico, tuvo como resultado del mismo modo mediante el programa SPSS v.22.0 – 2013; que para la confiabilidad de resultados tanto para el ángulo de fricción como para el coeficiente de permeabilidad el p-valor < .05, convirtiéndolo estadísticamente significativa al no presentar diferencia entre las muestras relacionadas. Y en consecuencia se aceptó la hipótesis nula y se rechazó la hipótesis alterna o del investigador; haciéndolo confiable el uso de las ecuaciones para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad. Cumpliendo de esta manera con el tercer objetivo específico de la tesis.

Al haber realizado el análisis de regresión y la prueba de hipótesis correlacional y confiabilidad de las ecuaciones para obtener el ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad, se demuestra y se cumple con el objetivo e hipótesis general de investigación, al plantearse que: “Es factible proponer una metodología simple, accesible y confiable para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en función a las características físicas para arenas mal graduadas en estado saturado”.

Por último, se da énfasis a la característica física denominada por el tesista como: “textura de curva granulométrica”, ya que en los antecedentes sustentados no lo toman en cuenta al momento de relacionarlo con el ángulo de fricción o con el coeficiente de permeabilidad, convirtiéndolo de esta manera en una característica poca o nada investigada; sin embargo en la presente tesis, se tuvo en consideración tal característica para los análisis correspondientes, llegando a la conclusión que influye de manera directa (incluso más que a las características que a menudo suelen relacionar), convirtiéndola en una característica física importante de las arenas limpias.

5.2. Recomendaciones

A continuación, se menciona las siguientes recomendaciones a tener en consideración, esto a partir con el desarrollo de la presente tesis:

La metodología propuesta para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad, se recomienda aplicarlos en suelos arenosos limpios bien y mal graduados, que presenten en particular: tamaño menor a 4.75 mm con hasta 5% de gruesos retenido en la malla #4, y mayor a 0.075 mm con hasta 5% de finos pasante la malla #200; con el siguiente rango de uniformidad: $2.122 \leq C_u \leq 8.069$.

Los resultados obtenidos, las mismas que son representadas por las ecuaciones de regresión para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en arenas limpias, son recomendables para la aplicación en el diseño de la cimentación en edificaciones menores (Cercos, depósitos y pequeñas viviendas temporales, y construcciones similares), a zonas urbanas de noroeste a sureste de la ciudad de Juliaca (incluido el campus de la UPeU – Juliaca), dado que en dichas zonas se encuentran suelos arenosos que presentan igual o similares características con los suelos arenosos de estudio.

Asimismo, se recomienda a los futuros tesisistas, investigadores y/o autores, tomar interés y consideración a la “textura de curva granulométrica”, a la hora de realizar investigaciones que implique relacionar parámetros geotécnicos del suelo con las características físicas.

Otra de las características físicas de vital importancia que se relacionan para la determinación del ángulo de fricción y coeficiente de permeabilidad en suelos granulares

(gravas y arenas) es la forma, redondez y esfericidad; características no tomadas en cuenta, por lo que queda pendiente para su estudio en una futura investigación.

Se recomienda realizar una investigación a nivel de tesis; de la misma naturaleza a la presente, pero que la muestra de estudio esté conformada por curvas granulométricas confeccionadas de suelos gravosos limpios bien y mal graduados, de clasificación GW y GP, respectivamente.

En cuanto si se desea confeccionar una curva granulométrica, se recomienda realizar por medio del ensayo de análisis granulométrico inverso (ensayo adaptado por el tesista), tal como se presenta en la metodología.

Por último, se hace necesario revalidar los resultados obtenidos mediante metodologías que requieren uso de equipos especializados, tales como el SPT o Triaxial CD, para el caso del ángulo de fricción. Y el ensayo de permeabilidad in situ para el caso del coeficiente de permeabilidad. Con la condición que para ambos casos, cumplan con las características de las arenas de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alyamani, M., & Sen, Z. (1993, July/August). Determination of hydraulic conductivity from complete grain-size distribution curves. *Ground Water*. 31(4), 551-555. *Abstract* recuperado de la base de datos SCI-HUB.
- Amer, A. M., & Awad, A. A. (1974, December). Permeability of cohesionless soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 100(12), 1309-1316. *Abstract* recuperado de la base de datos de The National Academics of Sciencies, Engineering and Medicine.
- Apaza, H. (2010). *Temas históricos de Juliaca: compendio histórico y cultural*. Juliaca, Perú: SAN ROMÁN.
- Bañon, L., y Beviá, J. F. (2010). *Manual de carreteras: construcción y mantenimiento*. (vols. 1-2). (s.l.): (s.n.).
- Bareither, C. A., Edil, T. B., Benson, C. H., & Mickelson D. M. (2008, October). Geological and physical factors affecting the friction angle of compacted sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 134(10), 1476-1489. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228661478_Geological_and_Physical_Factors_Affecting_the_Friction_Angle_of_Compacted_Sands
- Berry, P. L., y Reid, D. (1993). *Mecánica de suelos*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú: (s.n.).
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. (2a ed.). México D.F.: McGRAW-HILL.
- Campos, J., y Guardia, G. M. (2012). *Problemas resueltos de mecánica de suelos*. Lima, Perú: WH.

- Carrasco, J., y Riquelme, J. (Eds.). (2010). *Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales* [Boletín]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 207, 1-128. Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/medios/rayentue/boletines/NR37049.pdf>
- Chapuis, R. P. (2004, September). Predicting the saturated hydraulic conductivity of sand and gravel using effective diameter and void ratio. *Canadian Geotechnical Journal*. 41, 787-795. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237371981_Predicting_the_Saturated_Hydraulic_Conductivity_of_Sand_and_Gravel_Using_Effective_Diameter_and_Void_Ratio
- Coll, J. (noviembre, 2015). Investigación geotécnica para el futuro metro subterráneo de Lima. *En XIX Congreso Nacional de Ingeniería Civil* (pp. 455-465). Huaraz, Ancash, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Condori, E. E., Mamani, M. C., y Soto, J. L. (2013). *Microzonificación geotécnica mediante exploración de pozos a cielo abierto del campus universitario de la Universidad Peruana Unión*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/215859935/MICROZONIFICACION-GEOTECNICA-UPeU>
- Crespo, C. (2008). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. (6a ed.). México D.F.: LIMUSA.
- Cubrinovski, M., & Ishihara, K. (2002, December). Maximum and minimum void ratio characteristics of sands. *Japanese Geotechnical Society*. 42(6), 65-78. Recuperado de http://doi.org/10.3208/sandf.42.6_65
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2016). *Introduction to geotechnical engineering*. (2a ed.). Boston, USA: CENGAGE Learning.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. (7a ed.). México D.F.: CENGAGE Learning.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. (4a ed.). México D.F.: CENGAGE Learning.

- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of geotechnical engineering*. (8a ed.). Stamford, USA: CENGAGE Learning.
- Gomaa, Y., & Abdelrahman G. (2007, December). *Correlations between relative density and compaction test parameters*. Artículo presentado en el Twelfth International Colloquium on Structural and Geotechnical Engineering, Cairo, Egypt. Recuperado de http://citeweb.info/2007_1911287
- González, G., De Barcia, E., Sulbaran, Y., y Ucar, R. (agosto/noviembre, 2014). Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción interna (ϕ) y su relación con los parámetros densidad relativa (D_R) y relación de vacíos (e) en suelos granulares. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 35(3), 135-146. Recuperado de <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/5242/5031>
- Harvey, J. C. (1987). *Geología para ingenieros geotécnicos*. México D.F.: LIMUSA.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. Del P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6a ed.). México D.F.: McGRAW-HILL.
- Ilasaca, E. (2012). *Estadística y probabilidades con SPSS*. Lima, Perú: Megabyte.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2014). *Base topográfica IGN 2010*. Recuperado de <http://geocatminapp.ingemmet.gob.pe/complementos/Descargas/Mapas/Geologia50/revisi%00n/31-v2.jpg>
- Jiménez, R. (1998). *Metodología de la investigación: elementos básicos para la investigación clínica*. La Habana, Cuba: Ciencias Médicas.
- Juárez, E., y Rico, A. (2011-2012). *Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos* (vols. 1-3) (5a ed.). México D.F.: LIMUSA.
- Lambe, T. W. y Whitman, R. V. (2004). *Mecánica de suelos*. México D.F.: LIMUSA.

Leoni, A. J. (1987). *Apuntes de resistencia al corte* [Apuntes]. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://docplayer.es/7101243-Apuntes-de-resistencia-al-corte.html>

Leoni, A. J. (s.f.). *Geotecnia I: investigaciones geotécnicas* [Apuntes]. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://docplayer.es/7101243-Apuntes-de-resistencia-al-corte.html>

Mendenhall, W., Beaver, R. J., y Beaver, B. M. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística*. (13a ed.). México D.F.: CENGAGE Learning.

Miura, K., Maeda, K., Furukawa M., & Toki, S. (1997, September). Physical characteristics of sands with different primary properties. *Japanese Geotechnical Society*. 37(3), 53-64. Recuperado de http://doi.org/10.3208/sandf.37.3_53

Municipalidad Provincial de San Román. (2003-2006). *Plan director de Juliaca 2004-2015*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/339331934/Plan-director-2004-2015-Juliaca>

Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. (2a ed.). Naucalpan de Juárez, México: PEARSON.

Ochoa, C. (11 de noviembre de 2013). ¿Qué tamaño de muestra necesito? [Mensaje de Blog]. Recuperado de <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/que-tamano-de-muestra-necesito>

Onur, E. M. (2014). *Predicting the permeability of sandy soils from grain size distributions* (Thesis of Master of Science). Kent State University, Ohio, USA. Recuperado de https://etd.ohiolink.edu/pg_10?0::NO:10:P10_ACCESSION_NUM:kent1389550_812#abstract-files

Rico, A., y Del Castillo, H. (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas* (vols. 1-2). México D.F.: LIMUSA.

Riquelme, J., y Dorador, L. (noviembre, 2014). *Metodología para determinar densidades máxima y mínima en suelos granulares gruesos a partir de ensayos de*

laboratorio de escala reducida. Artículo presentado en el VIII Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, Santiago, Chile. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/270216113 Metodologia para determinar densidades maxima y minima en suelos granulares gruesos a partir de ensayos de laboratorio de escala reducida](https://www.researchgate.net/publication/270216113_Metodologia_para_determinar_densidades_maxima_y_minima_en_suelos_granulares_gruesos_a_partir_de_ensayos_de_laboratorio_de_escala_reducida)

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., y Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Recuperado de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

Sezer, A., Göktepe, A. B., & Altun, S. (2009). *Estimation of the permeability of granular soils using neuro-fuzzy system*. Ege Universitesi Insaat Muhendisligi Bolumu, Bornova, Izmir, Turkey. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/220828617 Estimation of the Permeability of Granular Soils Using Neuro-fuzzy System](https://www.researchgate.net/publication/220828617_Estimation_of_the_Permeability_of_Granular_Soils_Using_Neuro-fuzzy_System)

Soto, J. L. y Mamani, M. C. (agosto, 2013). Influencia de los parámetros granulométricos en la determinación de las propiedades mecánicas de suelos arenosos. En *XXI Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil y IX Congreso Internacional de Estudiantes de Ingeniería Civil* (pp. 85-87). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Sowers, G. B., y Sowers, G. F. (1972). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. México D.F.: LIMUSA – WILEY.

Spiegel, M. R., Schiller, J., y Srinivasan, R. A. (2010). *Probabilidad y estadística*. (3a ed.). México D.F.: MCGRAW-HILL.

Spiegel, M. R., y Stephens, L. J. (2009). *Estadística*. (4a ed.). México D.F.: MCGRAW-HILL.

Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Suárez, M. O., y Tapia, F. A. (2012). *Interaprendizaje de estadística básica*. Ibarra, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual.

Supo, J. (16 de marzo de 2012). Prueba de hipótesis: metodología de la investigación científica [Archivo de Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=R-8V3UZj6G4&t=26s>

Supo, J. (30 de noviembre de 2016). Prueba de hipótesis en cada nivel investigativo [Archivo de Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=qkSSxqX513o>

Taylor, D. W. (1961). *Principios fundamentales de mecánica de suelos*. México D.F.: CECSA.

Terzaghi, K., y Peck, R. B. (1973). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. (2a ed.). Barcelona, España: EL ATENEO.

Walpole, R. E., Myers, R. H., y Myers, S. L. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. (9a ed.). Naucalpan de Juárez, México: PEARSON.

Whitlow, R. (1995). *Basic soil mechanics*. (3a ed.). London, England: LONGMAN.

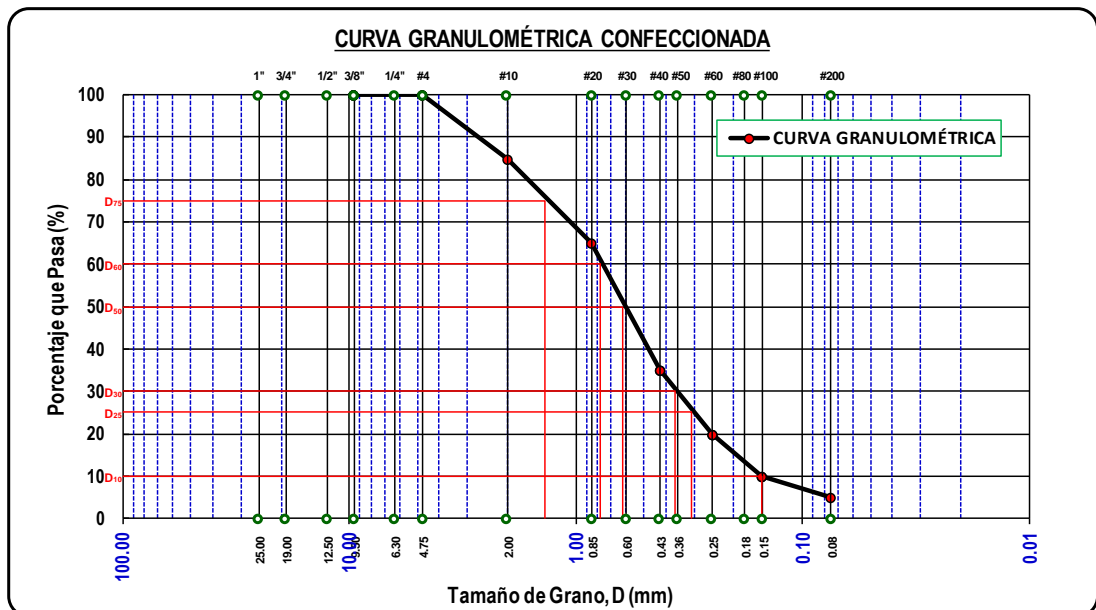
Whitlow, R. (1999). *Fundamentos de mecánica de suelos*. (2a ed.). México D.F.: CECSA.

ANEXOS

Anexo A. Ensayo de análisis granulométrico inverso (Adaptado por el tesista)

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Número de Curva</td> <td>: 01</td> </tr> <tr> <td>Textura de Curva</td> <td>: ABIERTA</td> </tr> <tr> <td>Clasificación SUCS</td> <td>: .</td> </tr> <tr> <td>Símbolo</td> <td>: SP</td> </tr> <tr> <td>Nombre</td> <td>: ARENA MAL GRADUADA</td> </tr> </table>	Número de Curva	: 01	Textura de Curva	: ABIERTA	Clasificación SUCS	: .	Símbolo	: SP	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA
Número de Curva	: 01										
Textura de Curva	: ABIERTA										
Clasificación SUCS	: .										
Símbolo	: SP										
Nombre	: ARENA MAL GRADUADA										



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300	100.00	0.00	0.00	0.00	
#4	4.750	100.00	0.00	0.00	0.00	
#10	2.000	85.00	15.00	15.00	375.00	
#20	0.850	65.00	35.00	20.00	500.00	
#30	0.600					
#40	0.425	35.00	65.00	30.00	750.00	
#50	0.355					
#60	0.250	20.00	80.00	15.00	375.00	
#80	0.180					
#100	0.150	10.00	90.00	10.00	250.00	
#200	0.075	4.99	95.01	5.01	125.25	
BASE		100.00		4.99	124.75	
TOTAL					2500.00	

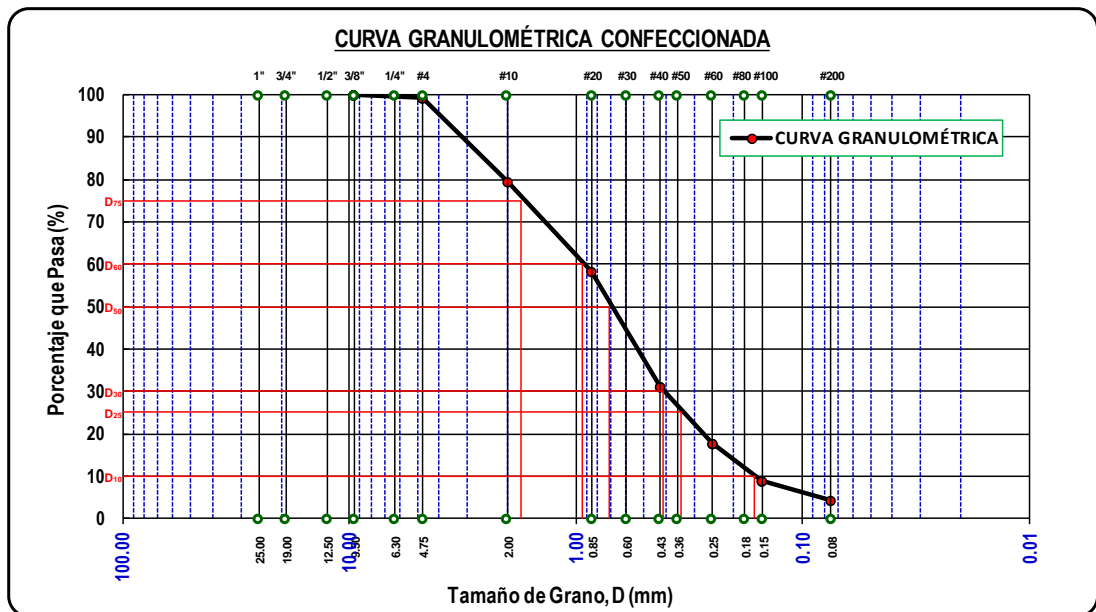
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2375.25 gr.
Peso Pas. #200	: 124.75 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.150 mm
D ₂₅ =	0.320 mm
D ₃₀ =	0.377 mm
D ₅₀ =	0.670 mm
D ₆₀ =	0.795 mm
D ₇₅ =	1.463 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	5.300
C _c =	1.190
S _o =	2.139

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 02
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	99.44	0.56	0.56	13.89	
#10	2.000	79.44	20.56	20.00	500.00	
#20	0.850	58.33	41.67	21.11	527.78	
#30	0.600					
#40	0.425	31.11	68.89	27.22	680.56	
#50	0.355					
#60	0.250	17.78	82.22	13.33	333.33	
#80	0.180					
#100	0.150	8.89	91.11	8.89	222.22	
#200	0.075	4.44	95.56	4.45	111.33	
BASE			100.00	4.44	110.89	
TOTAL					2500.00	

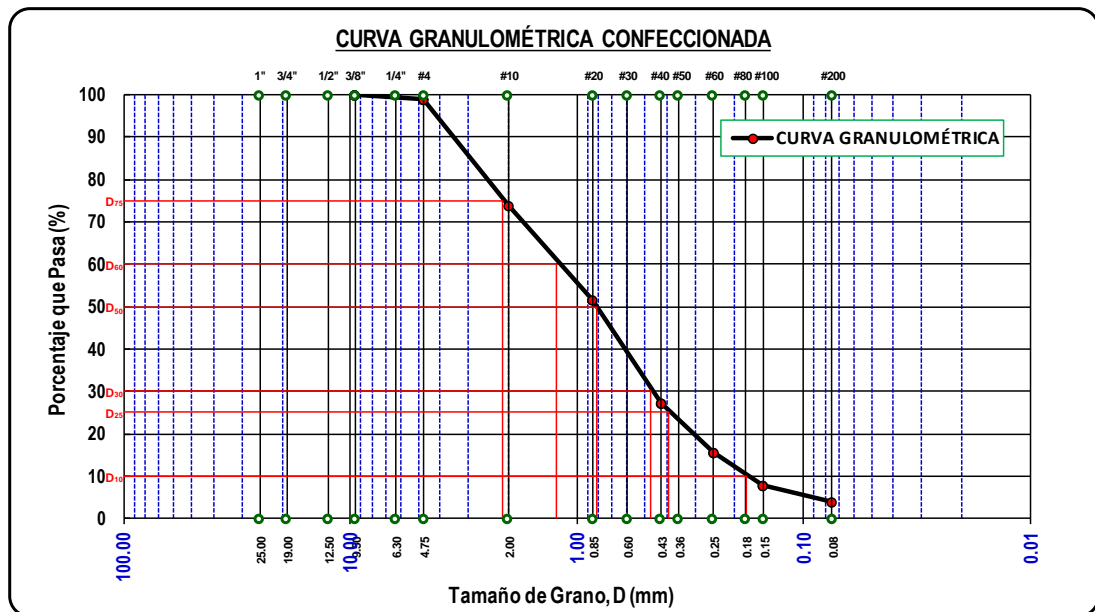
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2389.11 gr.
Peso Pas. #200	: 110.89 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.167 mm
D ₂₅ =	0.357 mm
D ₃₀ =	0.414 mm
D ₅₀ =	0.746 mm
D ₆₀ =	0.955 mm
D ₇₅ =	1.786 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	5.718
C _c =	1.073
S _o =	2.238

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 03
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



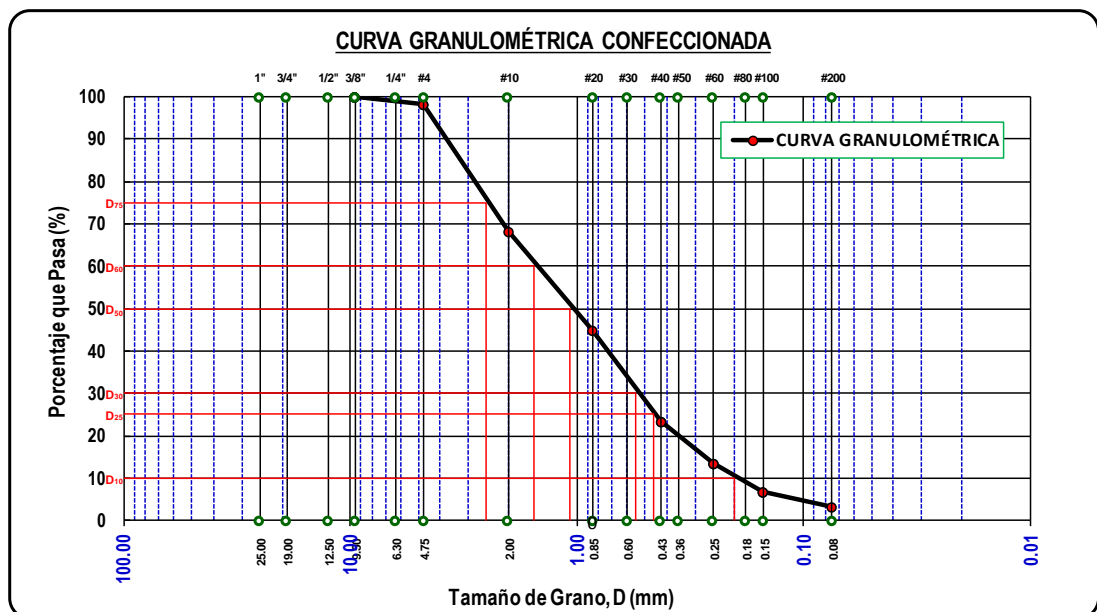
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	98.89	1.11	1.11	27.78	
#10	2.000	73.89	26.11	25.00	625.00	
#20	0.850	51.67	48.33	22.22	555.56	
#30	0.600					
#40	0.425	27.22	72.78	24.44	611.11	
#50	0.355					
#60	0.250	15.56	84.44	11.67	291.67	
#80	0.180					
#100	0.150	7.78	92.22	7.78	194.44	
#200	0.075	3.88	96.12	3.90	97.42	
BASE			100.00	3.88	97.03	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2402.97 gr.
Peso Pas. #200	: 97.03 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.186 mm
D ₂₅ =	0.398 mm
D ₃₀ =	0.489 mm
D ₅₀ =	0.828 mm
D ₆₀ =	1.331 mm
D ₇₅ =	2.141 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	7.144
C _c =	0.967
S _o =	2.318

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 04
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA



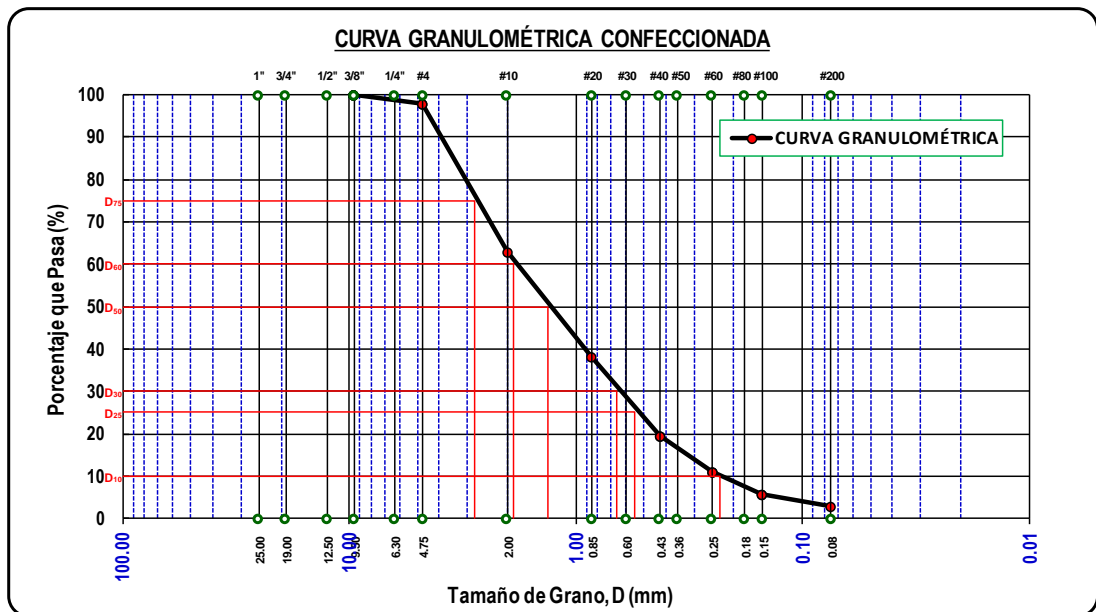
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	98.33	1.67	1.67	41.67	
#10	2.000	68.33	31.67	30.00	750.00	
#20	0.850	45.00	55.00	23.33	583.33	
#30	0.600					
#40	0.425	23.33	76.67	21.67	541.67	
#50	0.355					
#60	0.250	13.33	86.67	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	6.67	93.33	6.67	166.67	
#200	0.075	3.33	96.67	3.34	83.50	
BASE			100.00	3.33	83.17	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2416.83 gr.
Peso Pas. #200	: 83.17 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.208 mm
D ₂₅ =	0.470 mm
D ₃₀ =	0.588 mm
D ₅₀ =	1.140 mm
D ₆₀ =	1.642 mm
D ₇₅ =	2.703 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	7.875
C _c =	1.009
S _o =	2.399

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 05
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA



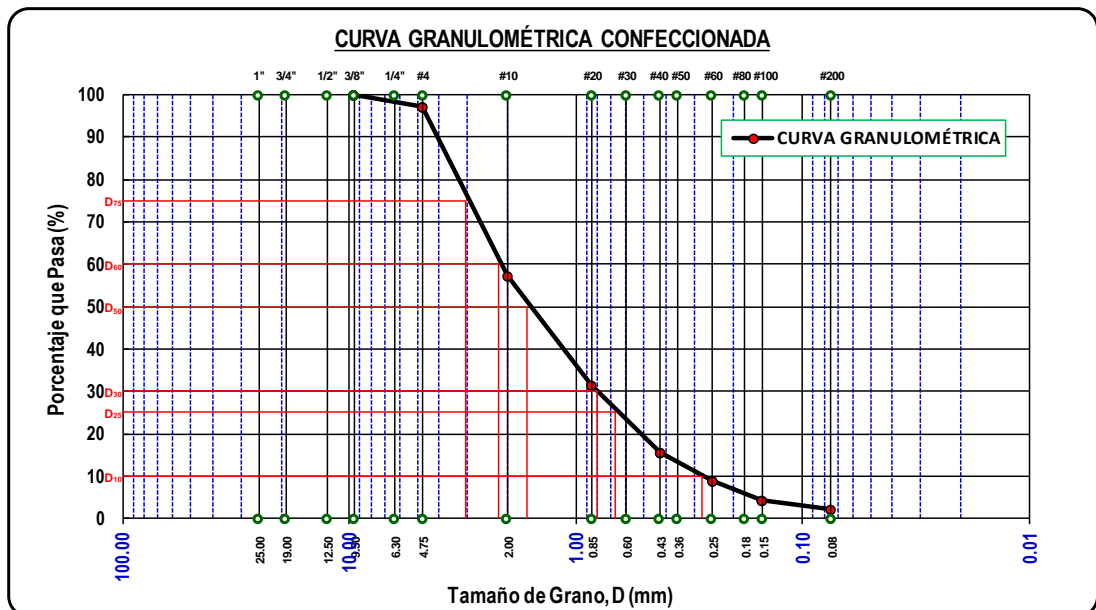
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	97.78	2.22	2.22	55.56	
#10	2.000	62.78	37.22	35.00	875.00	
#20	0.850	38.33	61.67	24.44	611.11	
#30	0.600					
#40	0.425	19.44	80.56	18.89	472.22	
#50	0.355					
#60	0.250	11.11	88.89	8.33	208.33	
#80	0.180					
#100	0.150	5.56	94.44	5.56	138.89	
#200	0.075	2.77	97.23	2.78	69.58	
BASE			100.00	2.77	69.31	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2430.69 gr.
Peso Pas. #200	: 69.31 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.235 mm
D ₂₅ =	0.582 mm
D ₃₀ =	0.697 mm
D ₅₀ =	1.469 mm
D ₆₀ =	1.894 mm
D ₇₅ =	3.104 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	8.069
C _c =	1.091
S _o =	2.309

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 06
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	97.22	2.78	2.78	69.44	
#10	2.000	57.22	42.78	40.00	1000.00	
#20	0.850	31.67	68.33	25.56	638.89	
#30	0.600					
#40	0.425	15.56	84.44	16.11	402.78	
#50	0.355					
#60	0.250	8.89	91.11	6.67	166.67	
#80	0.180					
#100	0.150	4.44	95.56	4.44	111.11	
#200	0.075	2.22	97.78	2.23	55.67	
BASE			100.00	2.22	55.44	
TOTAL					2500.00	

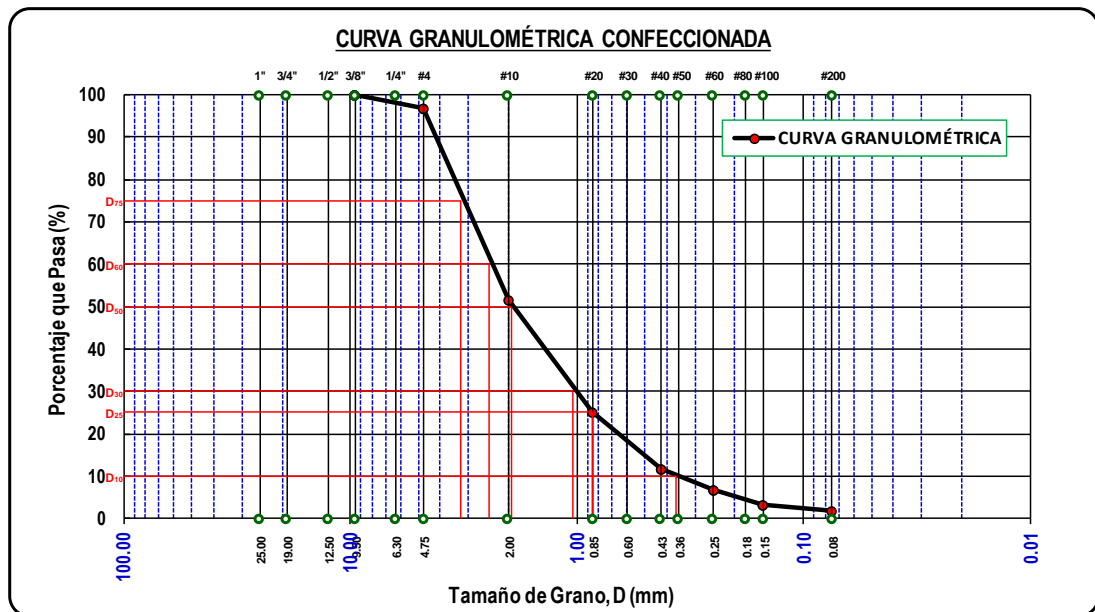
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2444.56 gr.
Peso Pas. #200	: 55.44 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.287 mm
D ₂₅ =	0.709 mm
D ₃₀ =	0.818 mm
D ₅₀ =	1.738 mm
D ₆₀ =	2.246 mm
D ₇₅ =	3.404 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	7.830
C _c =	1.038
S _o =	2.192

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 07
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA



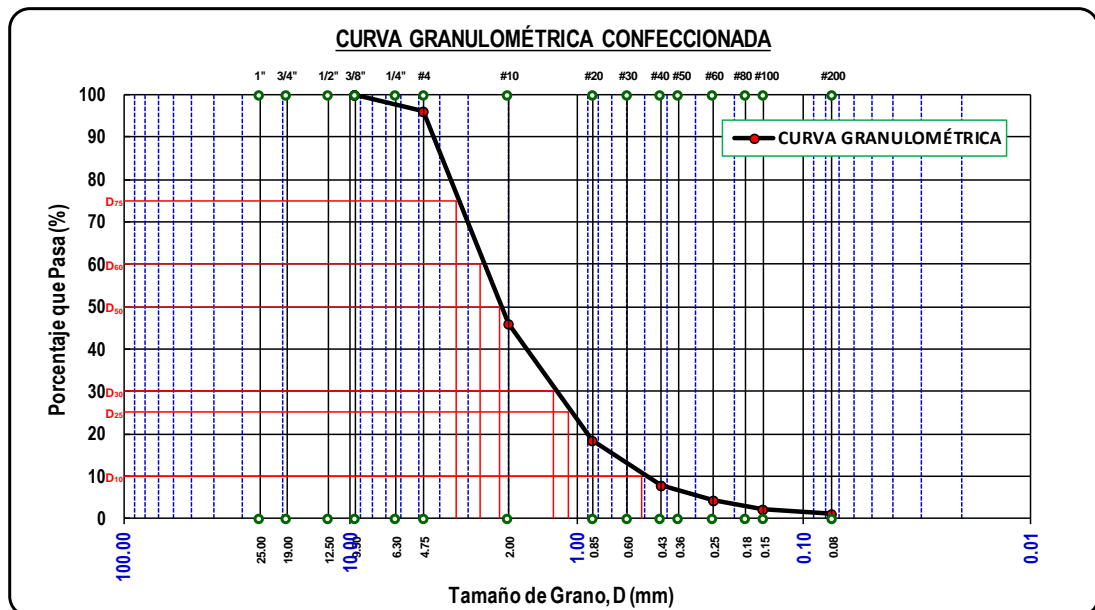
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	96.67	3.33	3.33	83.33	
#10	2.000	51.67	48.33	45.00	1125.00	
#20	0.850	25.00	75.00	26.67	666.67	
#30	0.600					
#40	0.425	11.67	88.33	13.33	333.33	
#50	0.355					
#60	0.250	6.67	93.33	5.00	125.00	
#80	0.180					
#100	0.150	3.33	96.67	3.33	83.33	
#200	0.075	1.66	98.34	1.67	41.75	
BASE			100.00	1.66	41.58	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA Peso Total : 2500.00 gr. Peso Ret. #200 : 2458.42 gr. Peso Pas. #200 : 41.58 gr.	
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS D ₁₀ = 0.377 mm D ₂₅ = 0.850 mm D ₃₀ = 1.139 mm D ₅₀ = 1.948 mm D ₆₀ = 2.656 mm D ₇₅ = 3.636 mm	
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS C _u = 7.050 C _c = 1.296 S _o = 2.068	

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 08
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	96.11	3.89	3.89	97.22	
#10	2.000	46.11	53.89	50.00	1250.00	
#20	0.850	18.33	81.67	27.78	694.44	
#30	0.600					
#40	0.425	7.78	92.22	10.56	263.89	
#50	0.355					
#60	0.250	4.44	95.56	3.33	83.33	
#80	0.180					
#100	0.150	2.22	97.78	2.22	55.56	
#200	0.075	1.11	98.89	1.11	27.83	
BASE			100.00	1.11	27.72	
TOTAL					2500.00	

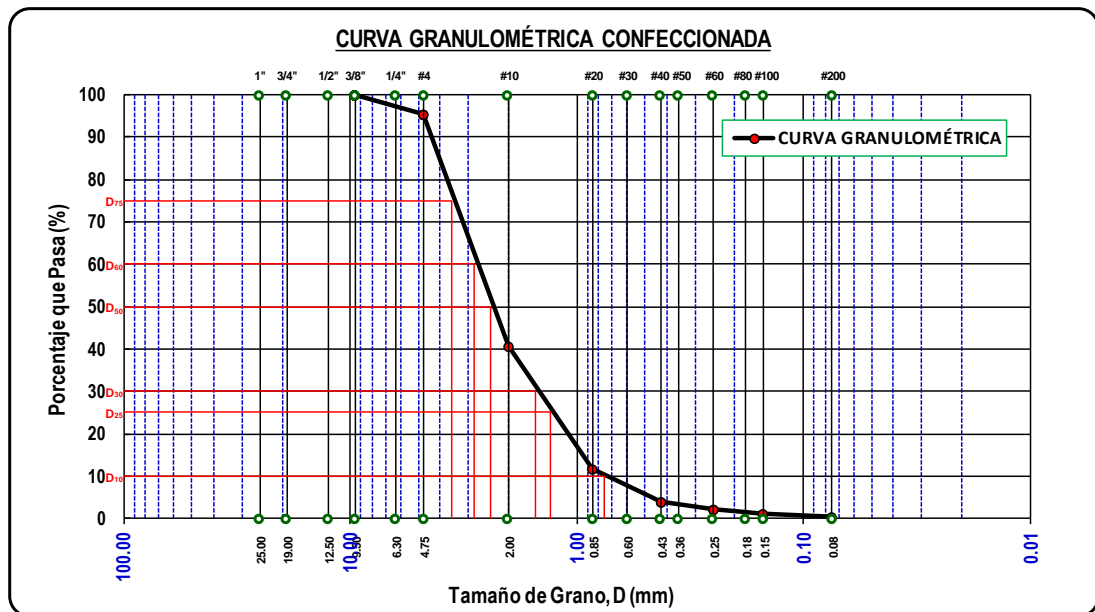
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2472.28 gr.
Peso Pas. #200	: 27.72 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.550 mm
D ₂₅ =	1.237 mm
D ₃₀ =	1.464 mm
D ₅₀ =	2.303 mm
D ₆₀ =	2.986 mm
D ₇₅ =	3.821 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	5.433
C _c =	1.306
S _o =	1.758

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 09
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	95.56	4.44	4.44	111.11	
#10	2.000	40.56	59.44	55.00	1375.00	
#20	0.850	11.67	88.33	28.89	722.22	
#30	0.600					
#40	0.425	3.89	96.11	7.78	194.44	
#50	0.355					
#60	0.250	2.22	97.78	1.67	41.67	
#80	0.180					
#100	0.150	1.11	98.89	1.11	27.78	
#200	0.075	0.55	99.45	0.56	13.92	
BASE			100.00	0.55	13.86	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Total : 2500.00 gr.
 Peso Ret. #200 : 2486.14 gr.
 Peso Pas. #200 : 13.86 gr.

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$D_{10} = 0.790$ mm
 $D_{25} = 1.553$ mm
 $D_{30} = 1.722$ mm
 $D_{50} = 2.672$ mm
 $D_{60} = 3.257$ mm
 $D_{75} = 3.973$ mm

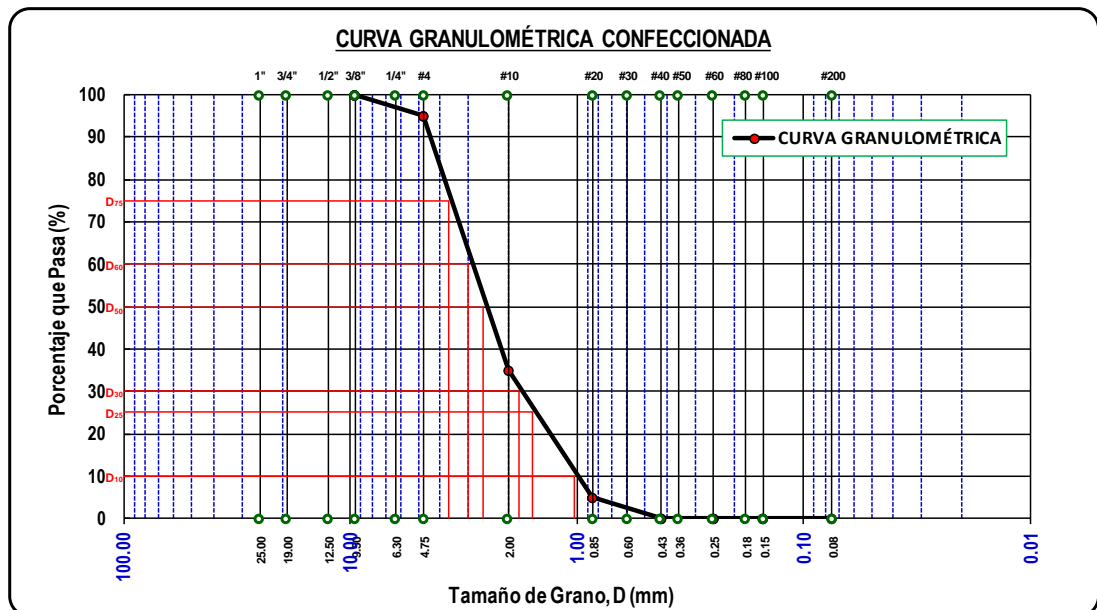
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS

$C_u = 4.121$
 $C_c = 1.152$
 $S_o = 1.599$

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 29 de mayo, 05 y 11 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 10
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



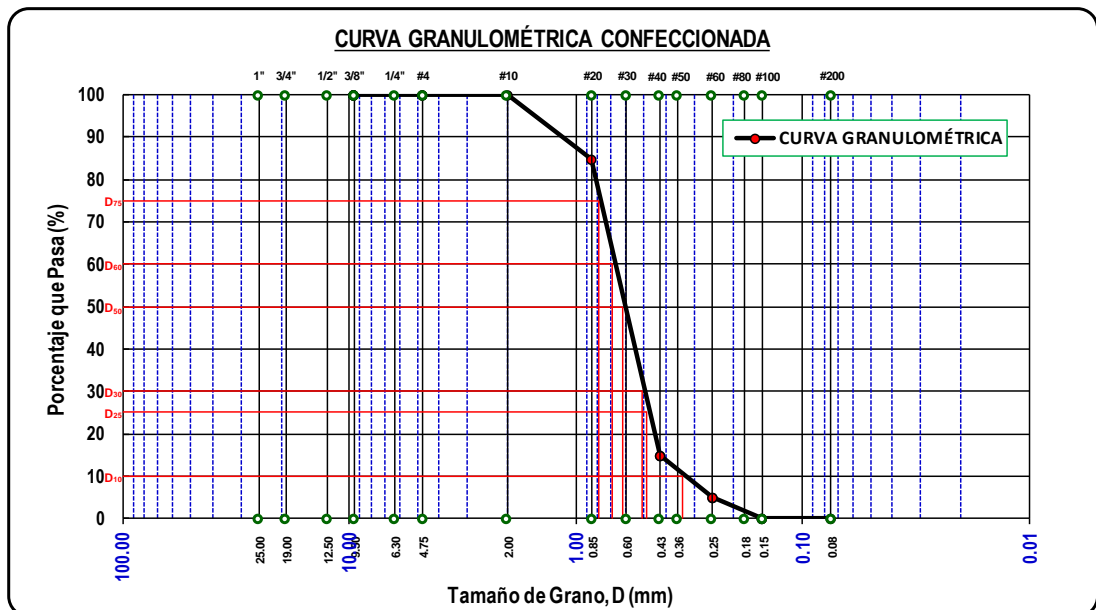
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	95.00	5.00	5.00	125.00	
#10	2.000	35.00	65.00	60.00	1500.00	
#20	0.850	5.00	95.00	30.00	750.00	
#30	0.600					
#40	0.425	0.00	100.00	5.00	125.00	
#50	0.355					
#60	0.250	0.00	100.00	0.00	0.00	
#80	0.180					
#100	0.150	0.00	100.00	0.00	0.00	
#200	0.075	0.00	100.00	0.00	0.00	
BASE			100.00	0.00	0.00	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2500.00 gr.
Peso Pas. #200	: 0.00 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	1.260 mm
D ₂₅ =	1.801 mm
D ₃₀ =	1.909 mm
D ₅₀ =	2.982 mm
D ₆₀ =	3.484 mm
D ₇₅ =	4.099 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	2.766
C _c =	0.830
S _o =	1.509

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*



ENSAYO:		Número de Curva	: 01
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA
Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a:			
NORMA: ASTM D 422-98			



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300	100.00	0.00	0.00	0.00	
#4	4.750	100.00	0.00	0.00	0.00	
#10	2.000	100.00	0.00	0.00	0.00	
#20	0.850	85.00	15.00	15.00	375.00	
#30	0.600					
#40	0.425	15.00	85.00	70.00	1750.00	
#50	0.355					
#60	0.250	5.00	95.00	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	0.00	100.00	5.00	125.00	
#200	0.075	0.00	100.00	0.00	0.00	
BASE			100.00	0.00	0.00	
TOTAL					2500.00	

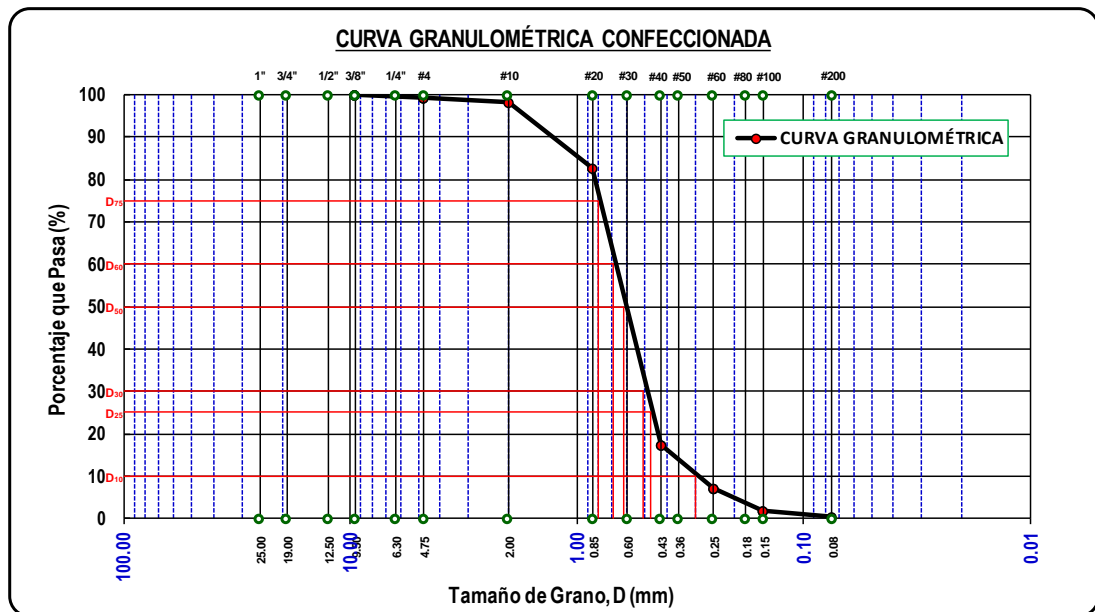
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2500.00 gr.
Peso Pas. #200	: 0.00 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.360 mm
D ₂₅ =	0.550 mm
D ₃₀ =	0.595 mm
D ₅₀ =	0.720 mm
D ₆₀ =	0.765 mm
D ₇₅ =	0.819 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	2.122
C _c =	1.284
S _o =	1.220

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 02
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



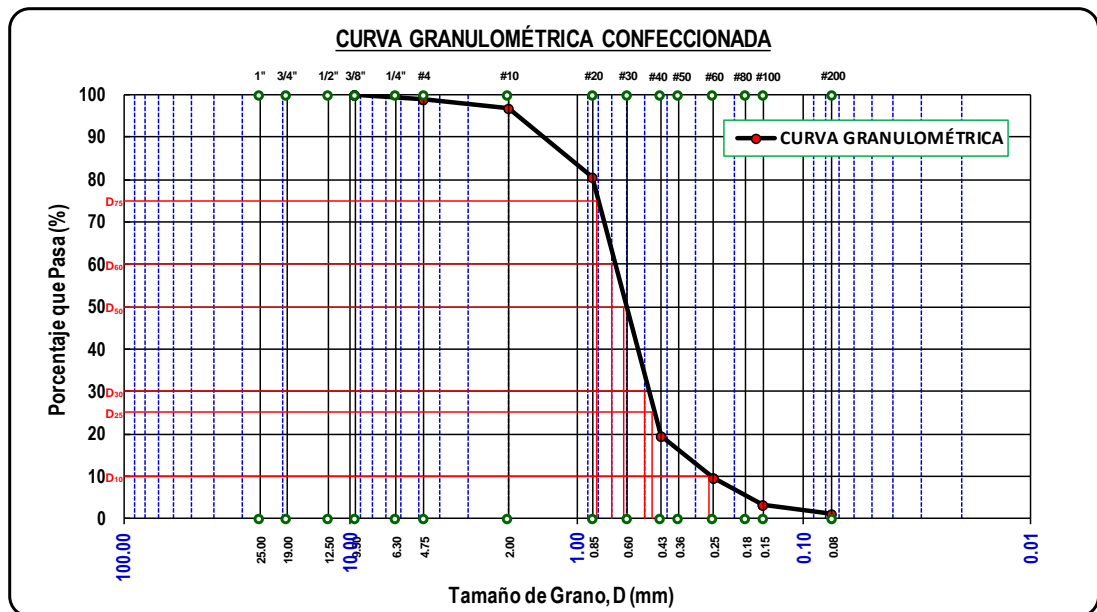
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	99.44	0.56	0.56	13.89	
#10	2.000	98.33	1.67	1.11	27.78	
#20	0.850	82.78	17.22	15.56	388.89	
#30	0.600					
#40	0.425	17.22	82.78	65.56	1638.89	
#50	0.355					
#60	0.250	7.22	92.78	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	1.67	98.33	5.56	138.89	
#200	0.075	0.55	99.45	1.11	27.81	
BASE			100.00	0.55	13.86	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2486.14 gr.
Peso Pas. #200	: 13.86 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.316 mm
D ₂₅ =	0.526 mm
D ₃₀ =	0.575 mm
D ₅₀ =	0.714 mm
D ₆₀ =	0.763 mm
D ₇₅ =	0.823 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	2.418
C _c =	1.375
S _o =	1.251

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 03
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



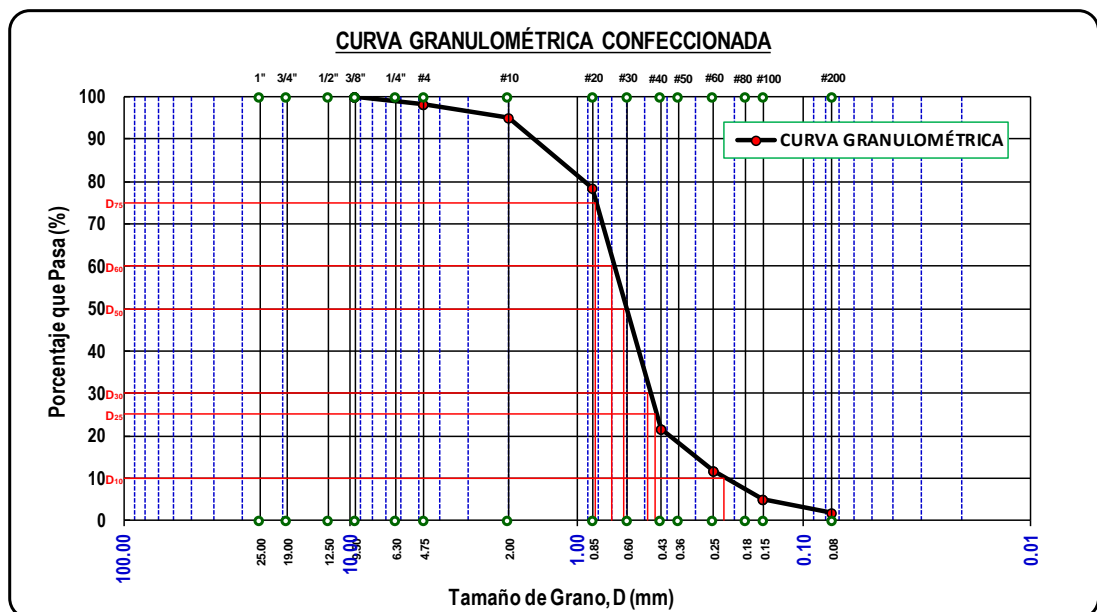
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	98.89	1.11	1.11	27.78	
#10	2.000	96.67	3.33	2.22	55.56	
#20	0.850	80.56	19.44	16.11	402.78	
#30	0.600					
#40	0.425	19.44	80.56	61.11	1527.78	
#50	0.355					
#60	0.250	9.44	90.56	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	3.33	96.67	6.11	152.78	
#200	0.075	1.11	98.89	2.22	55.61	
BASE			100.00	1.11	27.72	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2472.28 gr.
Peso Pas. #200	: 27.72 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.264 mm
D ₂₅ =	0.500 mm
D ₃₀ =	0.555 mm
D ₅₀ =	0.707 mm
D ₆₀ =	0.762 mm
D ₇₅ =	0.829 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	2.888
C _c =	1.530
S _o =	1.287

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Número de Curva</td> <td>: 04</td> </tr> <tr> <td>Textura de Curva</td> <td>: MEDIA</td> </tr> <tr> <td>Clasificación SUCS</td> <td>: .</td> </tr> <tr> <td>Símbolo</td> <td>: SP</td> </tr> <tr> <td>Nombre</td> <td>: ARENA MAL GRADUADA</td> </tr> </table>	Número de Curva	: 04	Textura de Curva	: MEDIA	Clasificación SUCS	: .	Símbolo	: SP	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA
Número de Curva	: 04										
Textura de Curva	: MEDIA										
Clasificación SUCS	: .										
Símbolo	: SP										
Nombre	: ARENA MAL GRADUADA										



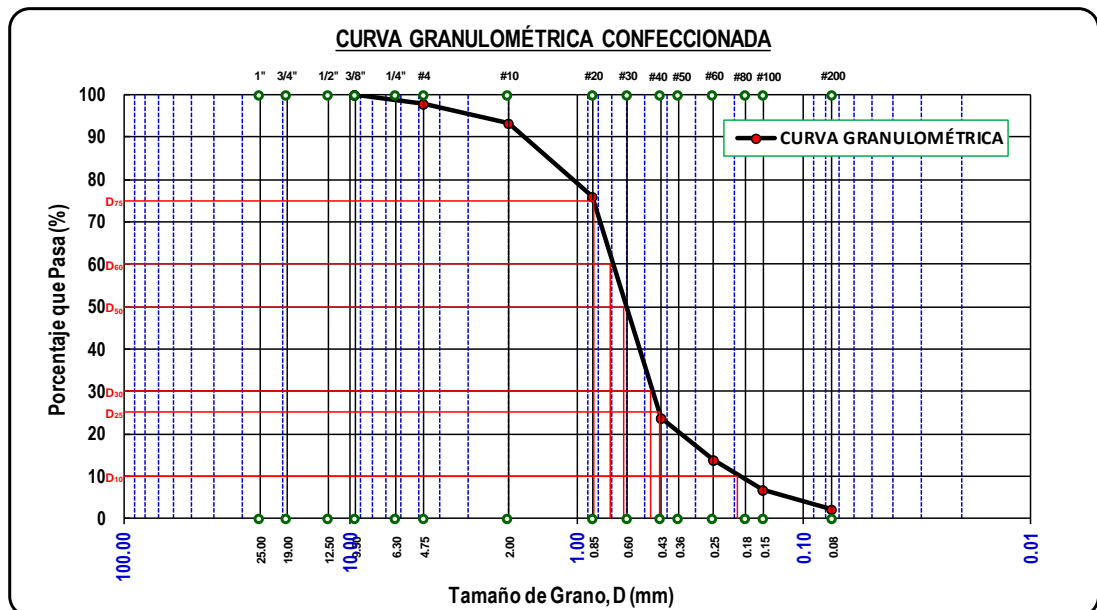
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	98.33	1.67	1.67	41.67	
#10	2.000	95.00	5.00	3.33	83.33	
#20	0.850	78.33	21.67	16.67	416.67	
#30	0.600					
#40	0.425	21.67	78.33	56.67	1416.67	
#50	0.355					
#60	0.250	11.67	88.33	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	5.00	95.00	6.67	166.67	
#200	0.075	1.66	98.34	3.34	83.42	
BASE			100.00	1.66	41.58	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2458.42 gr.
Peso Pas. #200	: 41.58 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.232 mm
D ₂₅ =	0.472 mm
D ₃₀ =	0.533 mm
D ₅₀ =	0.702 mm
D ₆₀ =	0.762 mm
D ₇₅ =	0.836 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	3.286
C _c =	1.606
S _o =	1.330

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 05
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	97.78	2.22	2.22	55.56	
#10	2.000	93.33	6.67	4.44	111.11	
#20	0.850	76.11	23.89	17.22	430.56	
#30	0.600					
#40	0.425	23.89	76.11	52.22	1305.56	
#50	0.355					
#60	0.250	13.89	86.11	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	6.67	93.33	7.22	180.56	
#200	0.075	2.22	97.78	4.45	111.22	
BASE			100.00	2.22	55.44	
TOTAL					2500.00	

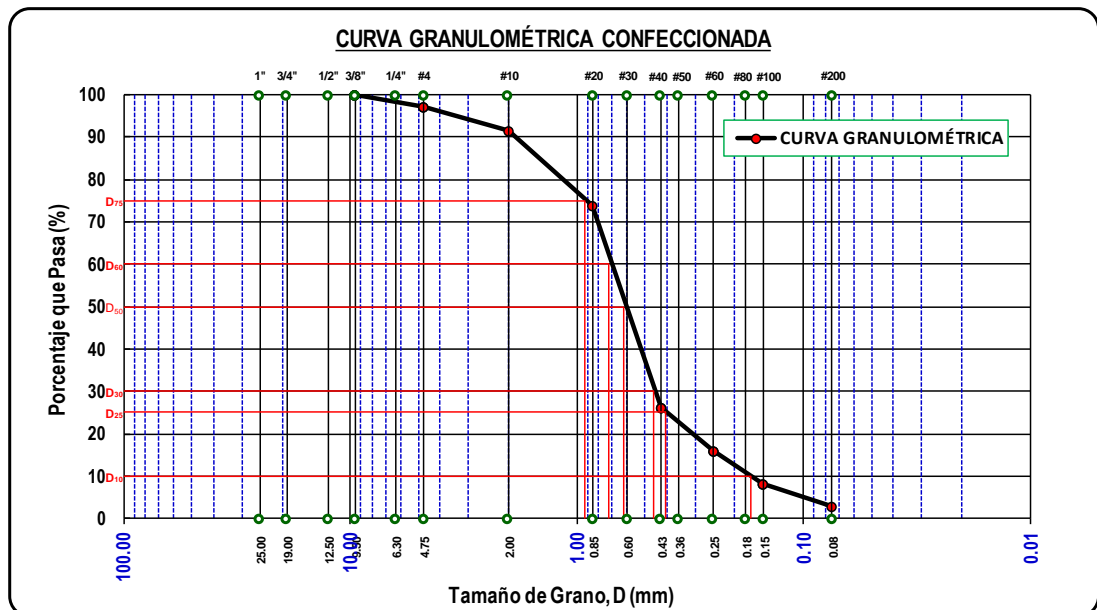
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2444.56 gr.
Peso Pas. #200	: 55.44 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.205 mm
D ₂₅ =	0.442 mm
D ₃₀ =	0.509 mm
D ₅₀ =	0.696 mm
D ₆₀ =	0.763 mm
D ₇₅ =	0.845 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	3.716
C _c =	1.652
S _o =	1.383

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</p>	
---	---	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 06
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	97.22	2.78	2.78	69.44	
#10	2.000	91.67	8.33	5.56	138.89	
#20	0.850	73.89	26.11	17.78	444.44	
#30	0.600					
#40	0.425	26.11	73.89	47.78	1194.44	
#50	0.355					
#60	0.250	16.11	83.89	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	8.33	91.67	7.78	194.44	
#200	0.075	2.77	97.23	5.56	139.03	
BASE			100.00	2.77	69.31	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Total : 2500.00 gr.
 Peso Ret. #200 : 2430.69 gr.
 Peso Pas. #200 : 69.31 gr.

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

D₁₀ = 0.178 mm
 D₂₅ = 0.409 mm
 D₃₀ = 0.482 mm
 D₅₀ = 0.690 mm
 D₆₀ = 0.765 mm
 D₇₅ = 0.930 mm

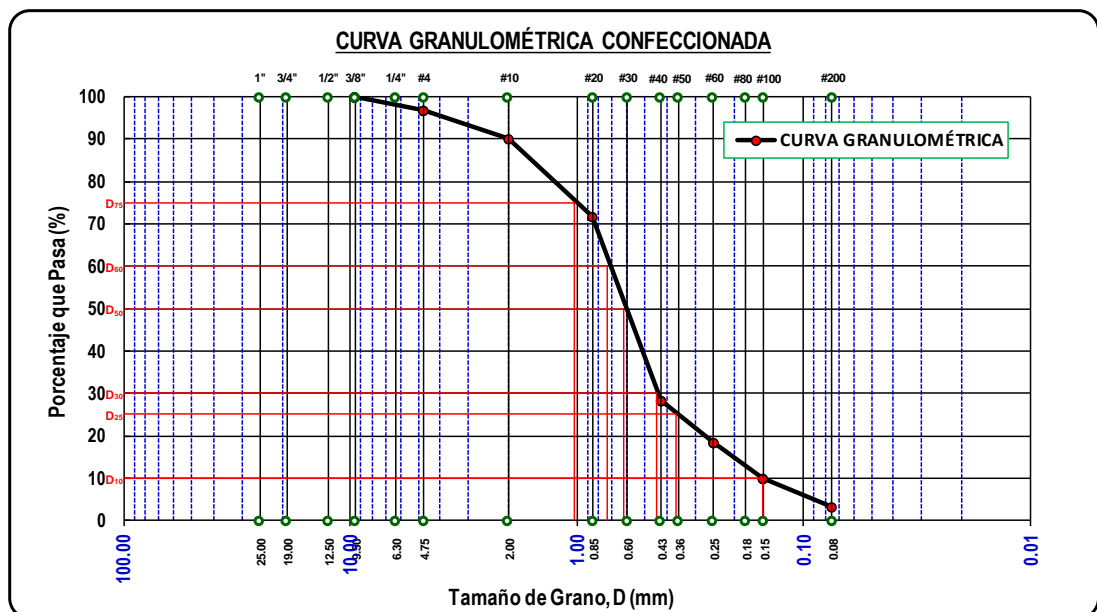
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS

C_u = 4.306
 C_c = 1.708
 S_o = 1.507

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 07
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	96.67	3.33	3.33	83.33	
#10	2.000	90.00	10.00	6.67	166.67	
#20	0.850	71.67	28.33	18.33	458.33	
#30	0.600					
#40	0.425	28.33	71.67	43.33	1083.33	
#50	0.355					
#60	0.250	18.33	81.67	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	10.00	90.00	8.33	208.33	
#200	0.075	3.33	96.67	6.67	166.83	
BASE			100.00	3.33	83.17	
TOTAL					2500.00	

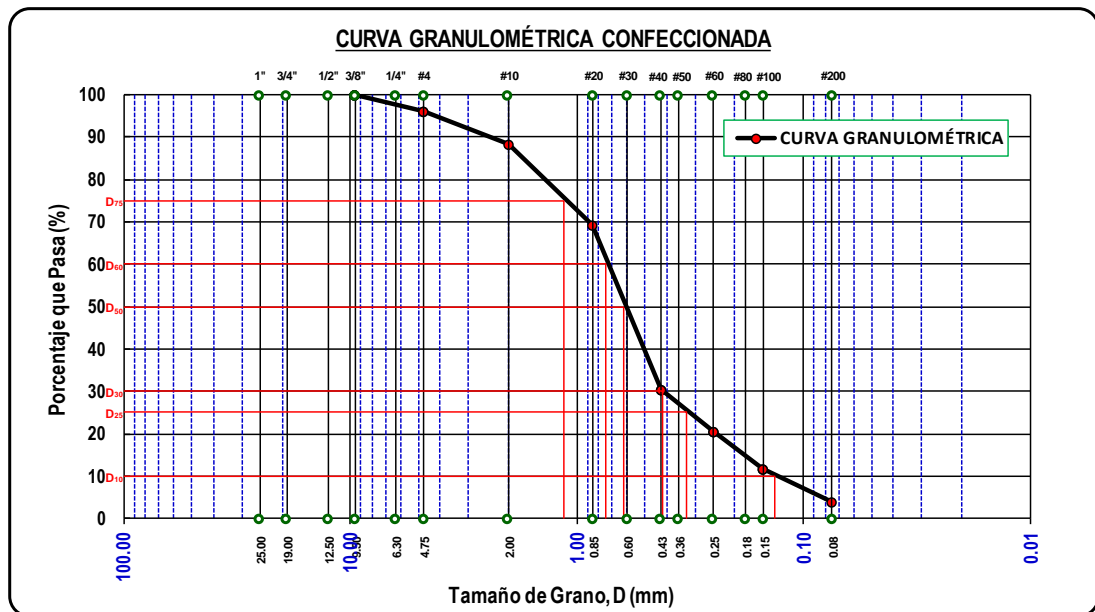
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2416.83 gr.
Peso Pas. #200	: 83.17 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.150 mm
D ₂₅ =	0.375 mm
D ₃₀ =	0.451 mm
D ₅₀ =	0.685 mm
D ₆₀ =	0.769 mm
D ₇₅ =	1.080 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	5.124
C _c =	1.766
S _o =	1.697

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 08
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	96.11	3.89	3.89	97.22	
#10	2.000	88.33	11.67	7.78	194.44	
#20	0.850	69.44	30.56	18.89	472.22	
#30	0.600					
#40	0.425	30.56	69.44	38.89	972.22	
#50	0.355					
#60	0.250	20.56	79.44	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	11.67	88.33	8.89	222.22	
#200	0.075	3.88	96.12	7.79	194.64	
BASE			100.00	3.88	97.03	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Total : 2500.00 gr.
 Peso Ret. #200 : 2402.97 gr.
 Peso Pas. #200 : 97.03 gr.



CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$D_{10} = 0.139$ mm
 $D_{25} = 0.336$ mm
 $D_{30} = 0.417$ mm
 $D_{50} = 0.680$ mm
 $D_{60} = 0.774$ mm
 $D_{75} = 1.218$ mm

PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS

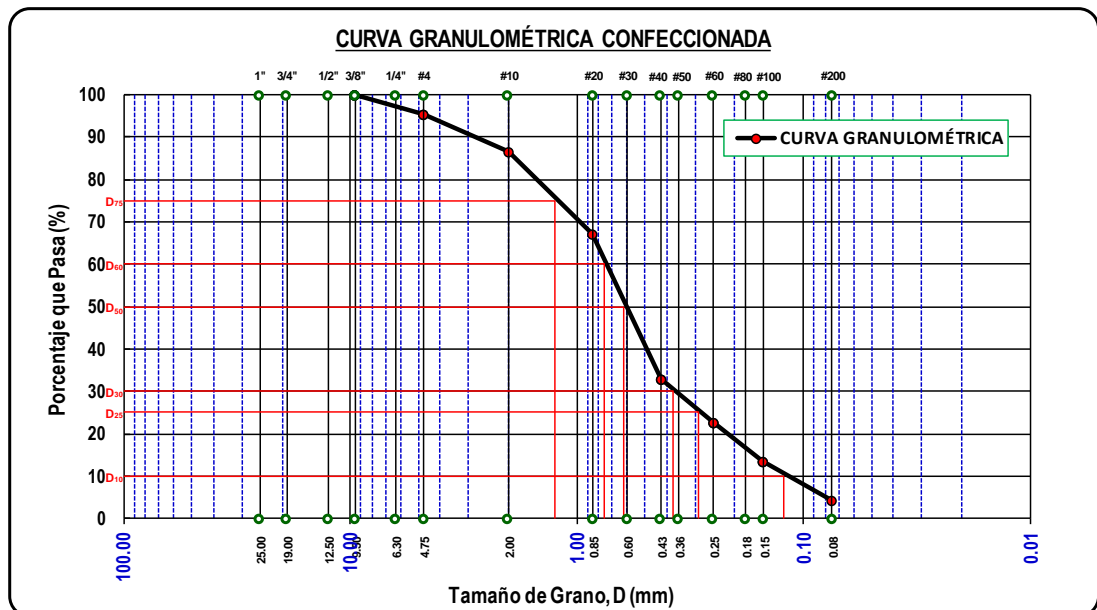
$C_u = 5.551$
 $C_c = 1.609$
 $S_o = 1.903$

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 09
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA



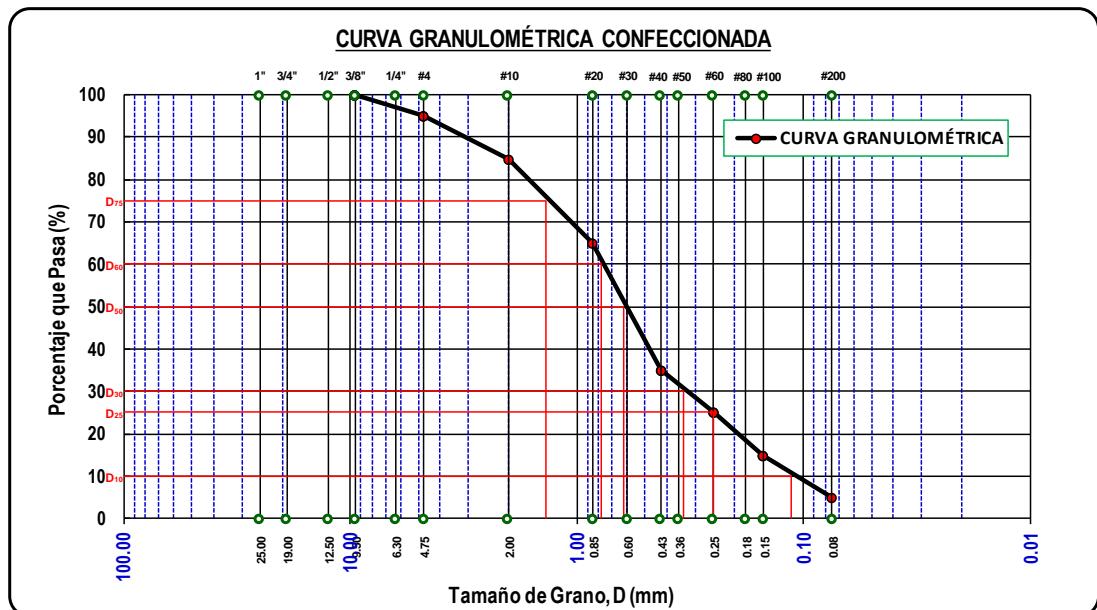
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	95.56	4.44	4.44	111.11	
#10	2.000	86.67	13.33	8.89	222.22	
#20	0.850	67.22	32.78	19.44	486.11	
#30	0.600					
#40	0.425	32.78	67.22	34.44	861.11	
#50	0.355					
#60	0.250	22.78	77.22	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	13.33	86.67	9.44	236.11	
#200	0.075	4.44	95.56	8.90	222.44	
BASE			100.00	4.44	110.89	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2389.11 gr.
Peso Pas. #200	: 110.89 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.130 mm
D ₂₅ =	0.295 mm
D ₃₀ =	0.382 mm
D ₅₀ =	0.675 mm
D ₆₀ =	0.783 mm
D ₇₅ =	1.346 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	6.003
C _c =	1.433
S ₀ =	2.137

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01, 07 y 16 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 10
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	95.00	5.00	5.00	125.00	
#10	2.000	85.00	15.00	10.00	250.00	
#20	0.850	65.00	35.00	20.00	500.00	
#30	0.600					
#40	0.425	35.00	65.00	30.00	750.00	
#50	0.355					
#60	0.250	25.00	75.00	10.00	250.00	
#80	0.180					
#100	0.150	15.00	85.00	10.00	250.00	
#200	0.075	4.99	95.01	10.01	250.25	
BASE			100.00	4.99	124.75	
TOTAL					2500.00	

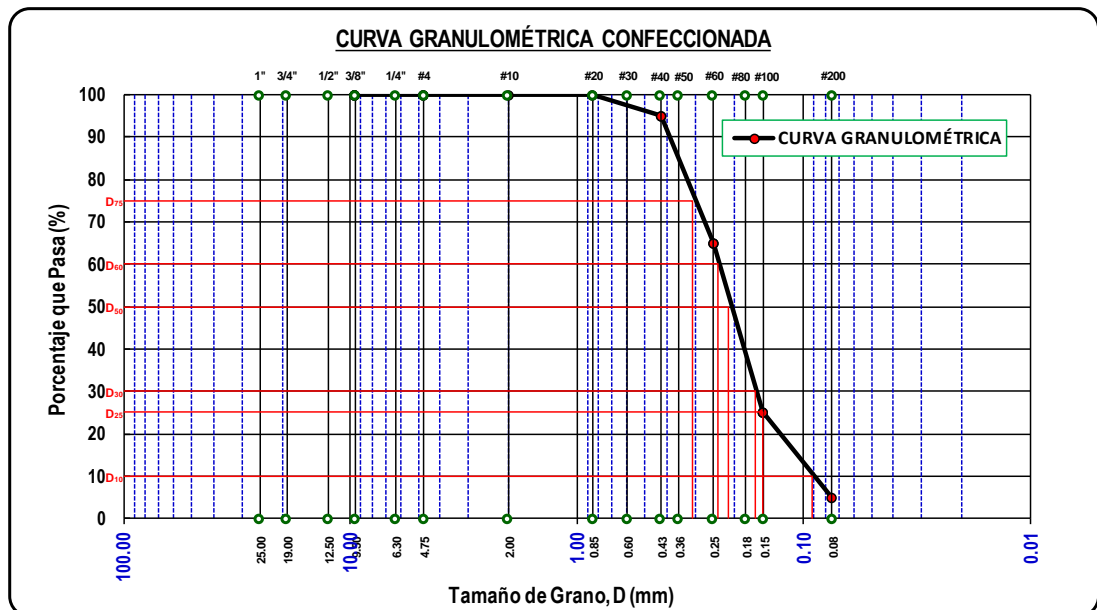
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2375.25 gr.
Peso Pas. #200	: 124.75 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.122 mm
D ₂₅ =	0.250 mm
D ₃₀ =	0.345 mm
D ₅₀ =	0.670 mm
D ₆₀ =	0.795 mm
D ₇₅ =	1.463 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	6.497
C _c =	1.222
S ₀ =	2.419

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 01
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300	100.00	0.00	0.00	0.00	
#4	4.750	100.00	0.00	0.00	0.00	
#10	2.000	100.00	0.00	0.00	0.00	
#20	0.850	100.00	0.00	0.00	0.00	
#30	0.600					
#40	0.425	95.00	5.00	5.00	125.00	
#50	0.355					
#60	0.250	65.00	35.00	30.00	750.00	
#80	0.180					
#100	0.150	25.00	75.00	40.00	1000.00	
#200	0.075	4.99	95.01	20.01	500.25	
BASE			100.00	4.99	124.75	
TOTAL					2500.00	

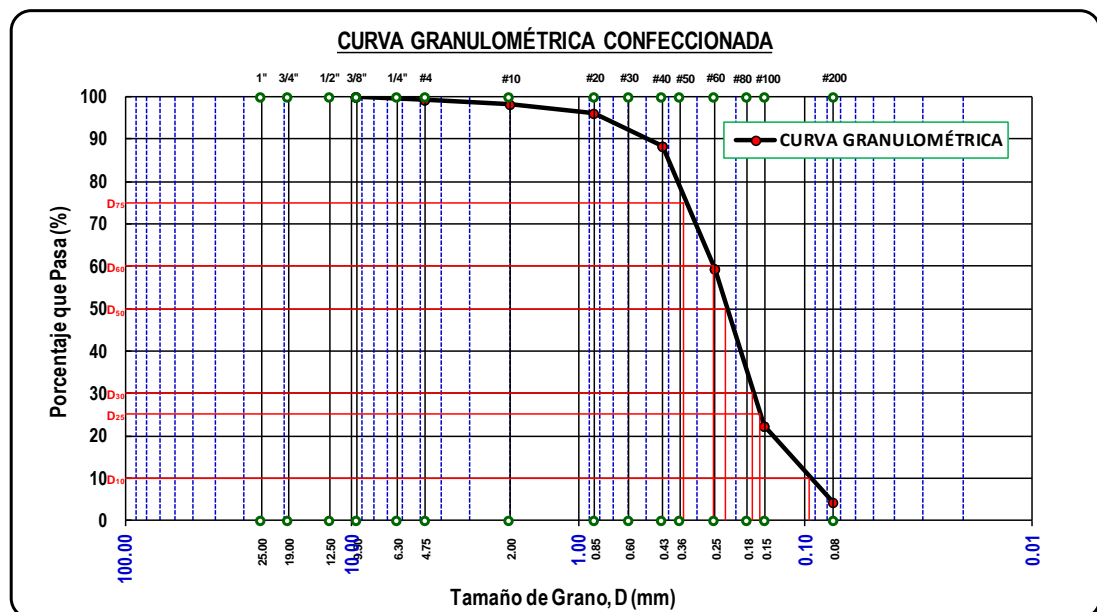
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2375.25 gr.
Peso Pas. #200	: 124.75 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.107 mm
D ₂₅ =	0.150 mm
D ₃₀ =	0.169 mm
D ₅₀ =	0.223 mm
D ₆₀ =	0.242 mm
D ₇₅ =	0.316 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	2.251
C _c =	1.102
S _o =	1.451

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 02
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



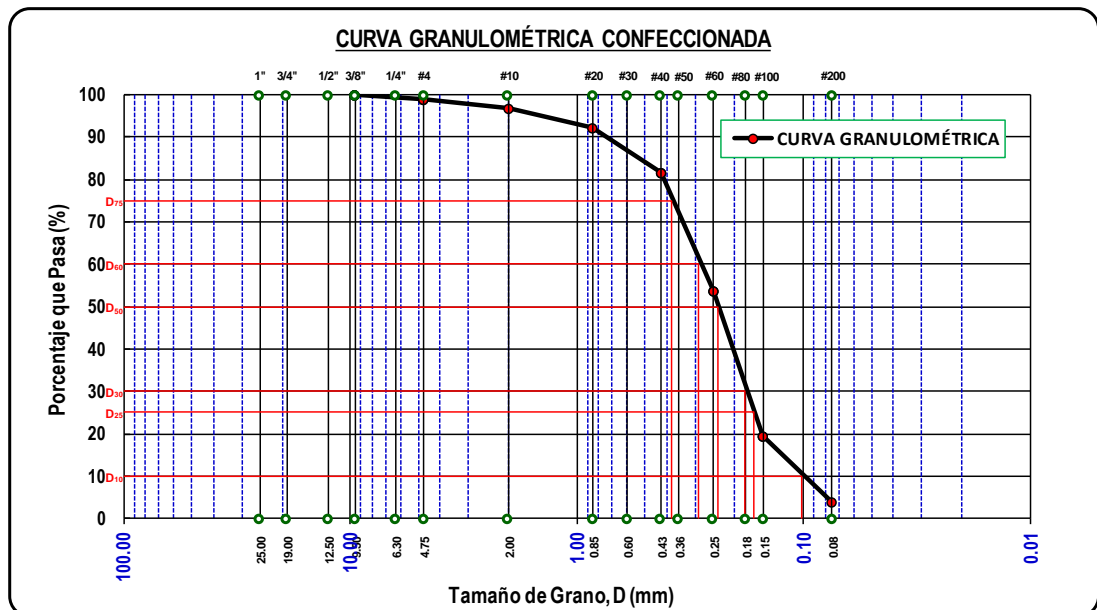
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	99.44	0.56	0.56	13.89	
#10	2.000	98.33	1.67	1.11	27.78	
#20	0.850	96.11	3.89	2.22	55.56	
#30	0.600					
#40	0.425	88.33	11.67	7.78	194.44	
#50	0.355					
#60	0.250	59.44	40.56	28.89	722.22	
#80	0.180					
#100	0.150	22.22	77.78	37.22	930.56	
#200	0.075	4.44	95.56	17.79	444.67	
BASE			100.00	4.44	110.89	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA Peso Total : 2500.00 gr. Peso Ret. #200 : 2389.11 gr. Peso Pas. #200 : 110.89 gr.	
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS D ₁₀ = 0.113 mm D ₂₅ = 0.162 mm D ₃₀ = 0.181 mm D ₅₀ = 0.232 mm D ₆₀ = 0.254 mm D ₇₅ = 0.353 mm	
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS C _u = 2.252 C _c = 1.136 S _o = 1.476	

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 03
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	98.89	1.11	1.11	27.78	
#10	2.000	96.67	3.33	2.22	55.56	
#20	0.850	92.22	7.78	4.44	111.11	
#30	0.600					
#40	0.425	81.67	18.33	10.56	263.89	
#50	0.355					
#60	0.250	53.89	46.11	27.78	694.44	
#80	0.180					
#100	0.150	19.44	80.56	34.44	861.11	
#200	0.075	3.88	96.12	15.56	389.08	
BASE			100.00	3.88	97.03	
TOTAL					2500.00	

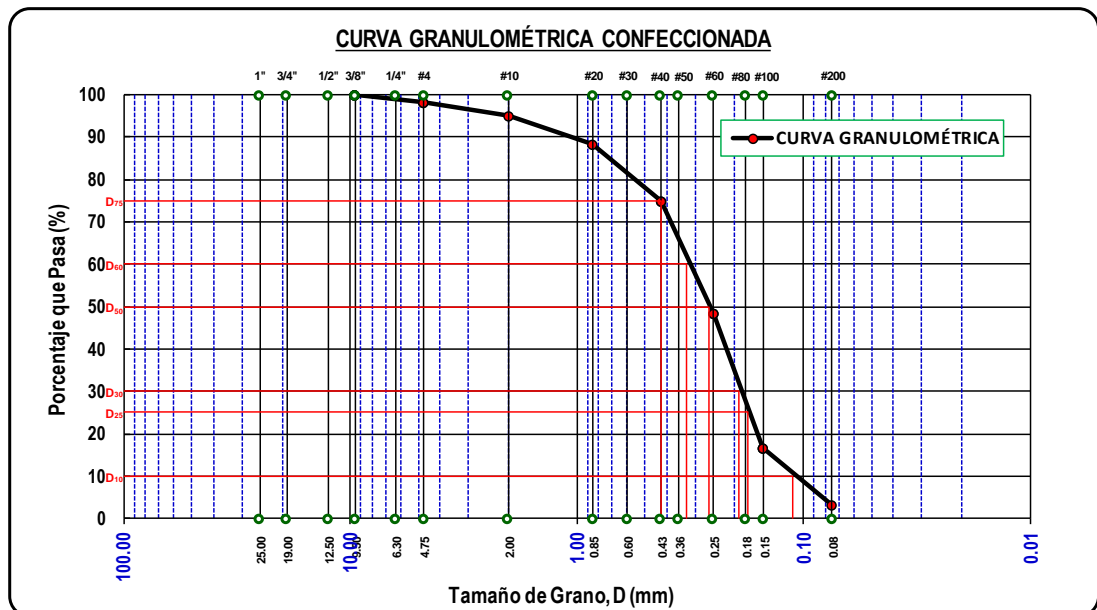
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2402.97 gr.
Peso Pas. #200	: 97.03 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.119 mm
D ₂₅ =	0.175 mm
D ₃₀ =	0.193 mm
D ₅₀ =	0.243 mm
D ₆₀ =	0.295 mm
D ₇₅ =	0.389 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	2.480
C _c =	1.055
S _o =	1.493

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</p>	
---	---	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 04
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	98.33	1.67	1.67	41.67	
#10	2.000	95.00	5.00	3.33	83.33	
#20	0.850	88.33	11.67	6.67	166.67	
#30	0.600					
#40	0.425	75.00	25.00	13.33	333.33	
#50	0.355					
#60	0.250	48.33	51.67	26.67	666.67	
#80	0.180					
#100	0.150	16.67	83.33	31.67	791.67	
#200	0.075	3.33	96.67	13.34	333.50	
BASE			100.00	3.33	83.17	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Total : 2500.00 gr.
 Peso Ret. #200 : 2416.83 gr.
 Peso Pas. #200 : 83.17 gr.



CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

D₁₀ = 0.126 mm
 D₂₅ = 0.188 mm
 D₃₀ = 0.205 mm
 D₅₀ = 0.264 mm
 D₆₀ = 0.336 mm
 D₇₅ = 0.425 mm

PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS

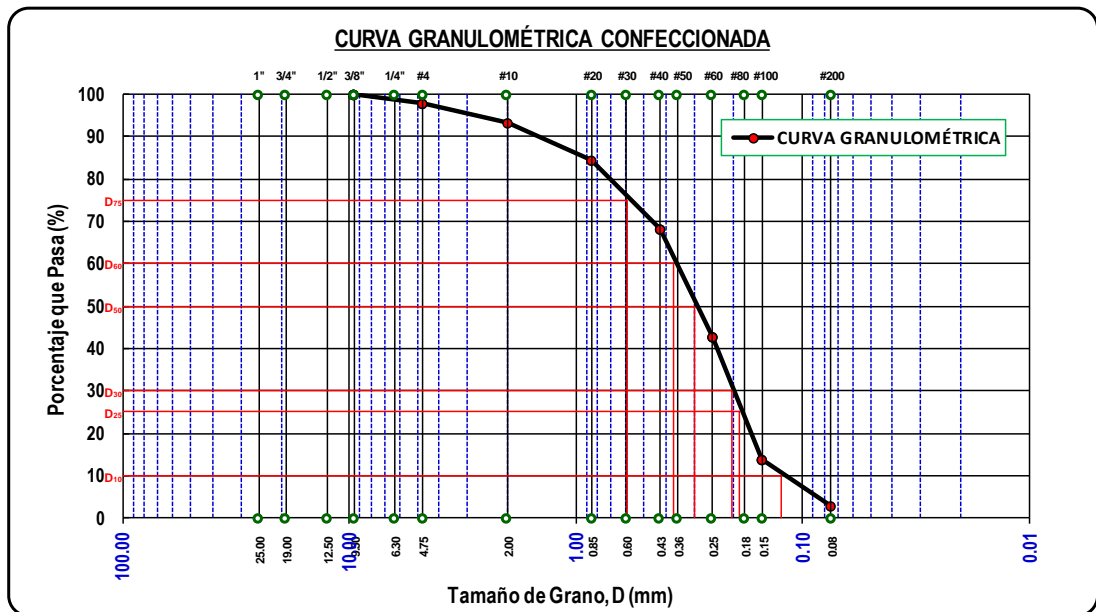
C_u = 2.663
 C_c = 0.993
 S_o = 1.503

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 05
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	97.78	2.22	2.22	55.56	
#10	2.000	93.33	6.67	4.44	111.11	
#20	0.850	84.44	15.56	8.89	222.22	
#30	0.600					
#40	0.425	68.33	31.67	16.11	402.78	
#50	0.355					
#60	0.250	42.78	57.22	25.56	638.89	
#80	0.180					
#100	0.150	13.89	86.11	28.89	722.22	
#200	0.075	2.77	97.23	11.12	277.92	
BASE			100.00	2.77	69.31	
TOTAL					2500.00	

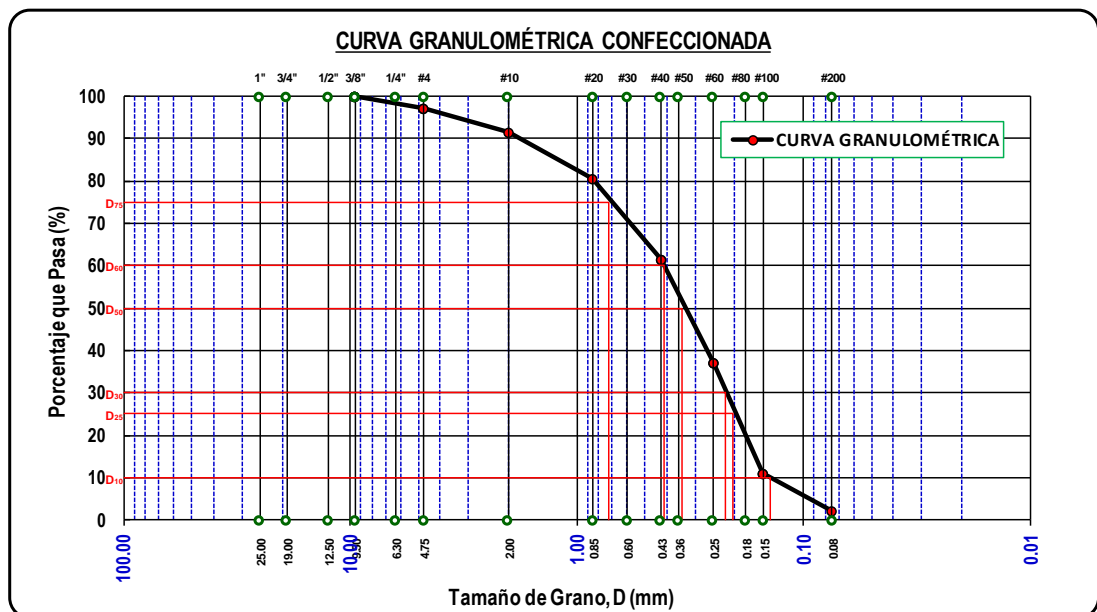
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2430.69 gr.
Peso Pas. #200	: 69.31 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.135 mm
D ₂₅ =	0.202 mm
D ₃₀ =	0.218 mm
D ₅₀ =	0.308 mm
D ₆₀ =	0.376 mm
D ₇₅ =	0.612 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	2.794
C _c =	0.941
S _o =	1.739

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</p>	
---	---	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 06
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	97.22	2.78	2.78	69.44	
#10	2.000	91.67	8.33	5.56	138.89	
#20	0.850	80.56	19.44	11.11	277.78	
#30	0.600					
#40	0.425	61.67	38.33	18.89	472.22	
#50	0.355					
#60	0.250	37.22	62.78	24.44	611.11	
#80	0.180					
#100	0.150	11.11	88.89	26.11	652.78	
#200	0.075	2.22	97.78	8.89	222.33	
BASE			100.00	2.22	55.44	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Total : 2500.00 gr.
 Peso Ret. #200 : 2444.56 gr.
 Peso Pas. #200 : 55.44 gr.

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

D₁₀ = 0.145 mm
 D₂₅ = 0.217 mm
 D₃₀ = 0.232 mm
 D₅₀ = 0.352 mm
 D₆₀ = 0.416 mm
 D₇₅ = 0.736 mm

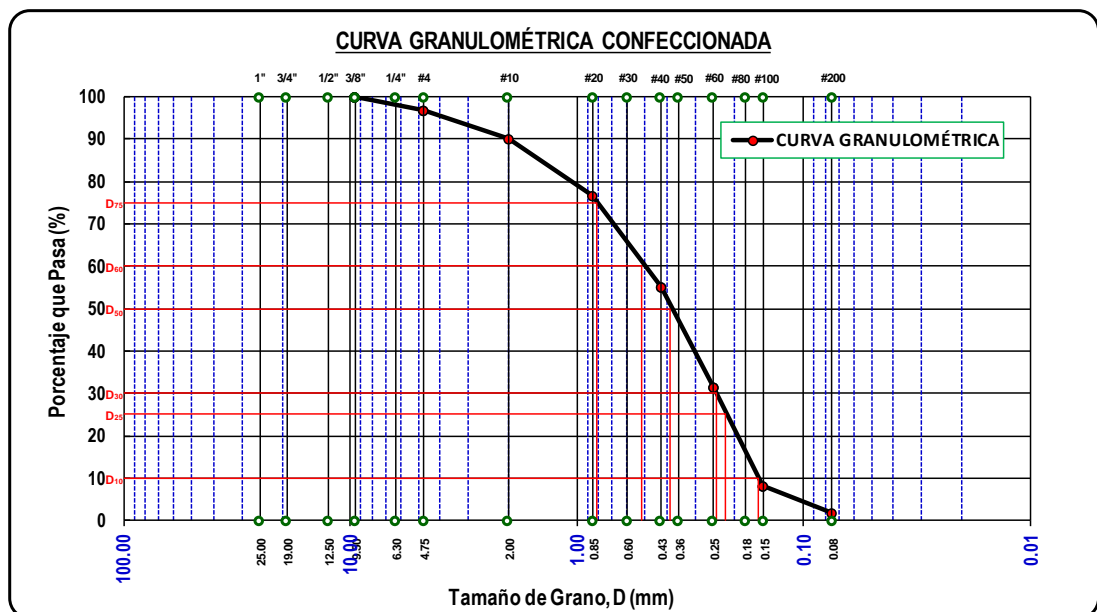
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS

C_u = 2.864
 C_c = 0.894
 S_o = 1.842

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Número de Curva</td> <td>: 07</td> </tr> <tr> <td>Textura de Curva</td> <td>: CERRADA</td> </tr> <tr> <td>Clasificación SUCS</td> <td>: .</td> </tr> <tr> <td>Símbolo</td> <td>: SP</td> </tr> <tr> <td>Nombre</td> <td>: ARENA MAL GRADUADA</td> </tr> </table>	Número de Curva	: 07	Textura de Curva	: CERRADA	Clasificación SUCS	: .	Símbolo	: SP	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA
Número de Curva	: 07										
Textura de Curva	: CERRADA										
Clasificación SUCS	: .										
Símbolo	: SP										
Nombre	: ARENA MAL GRADUADA										



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	96.67	3.33	3.33	83.33	
#10	2.000	90.00	10.00	6.67	166.67	
#20	0.850	76.67	23.33	13.33	333.33	
#30	0.600					
#40	0.425	55.00	45.00	21.67	541.67	
#50	0.355					
#60	0.250	31.67	68.33	23.33	583.33	
#80	0.180					
#100	0.150	8.33	91.67	23.33	583.33	
#200	0.075	1.66	98.34	6.67	166.75	
BASE			100.00	1.66	41.58	
TOTAL					2500.00	

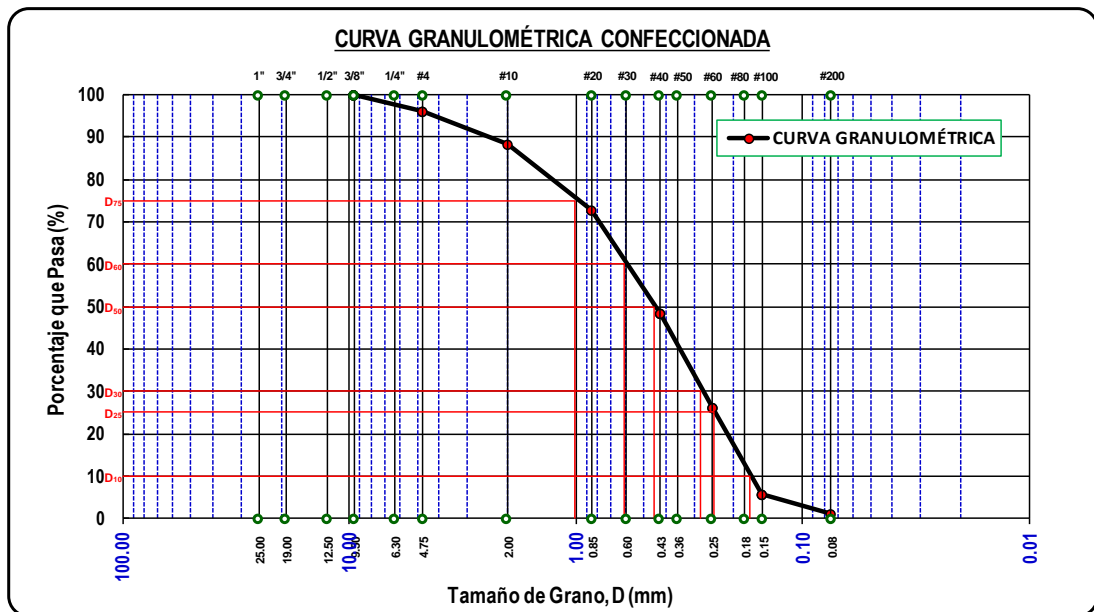
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2458.42 gr.
Peso Pas. #200	: 41.58 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.164 mm
D ₂₅ =	0.232 mm
D ₃₀ =	0.246 mm
D ₅₀ =	0.395 mm
D ₆₀ =	0.536 mm
D ₇₅ =	0.822 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	3.277
C _c =	0.689
S _o =	1.881

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 08
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA



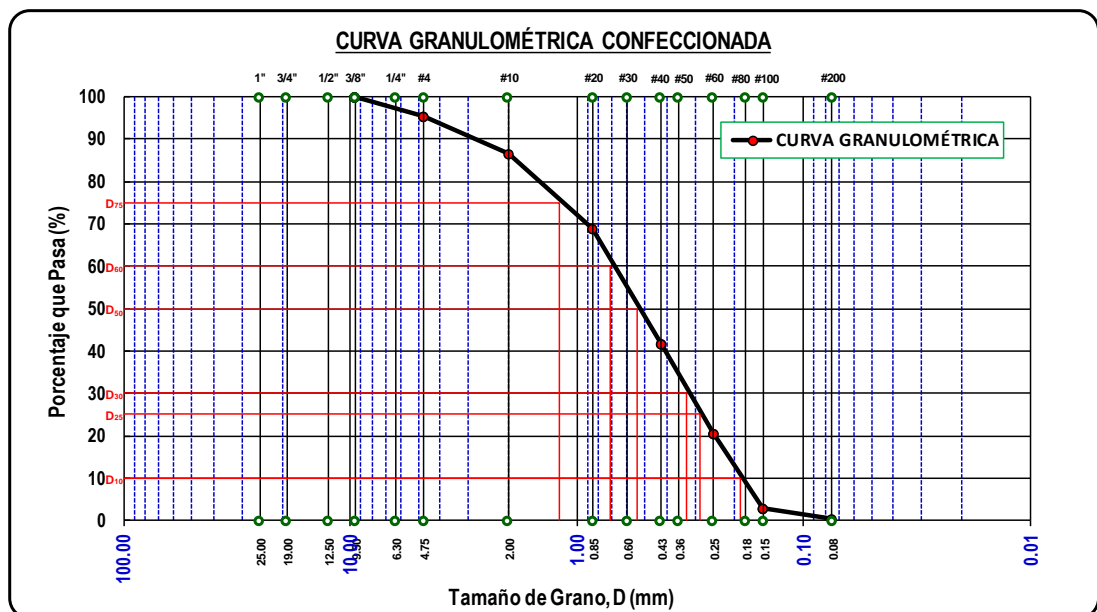
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	96.11	3.89	3.89	97.22	
#10	2.000	88.33	11.67	7.78	194.44	
#20	0.850	72.78	27.22	15.56	388.89	
#30	0.600					
#40	0.425	48.33	51.67	24.44	611.11	
#50	0.355					
#60	0.250	26.11	73.89	22.22	555.56	
#80	0.180					
#100	0.150	5.56	94.44	20.56	513.89	
#200	0.075	1.11	98.89	4.45	111.17	
BASE			100.00	1.11	27.72	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2472.28 gr.
Peso Pas. #200	: 27.72 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.188 mm
D ₂₅ =	0.247 mm
D ₃₀ =	0.289 mm
D ₅₀ =	0.460 mm
D ₆₀ =	0.650 mm
D ₇₅ =	1.029 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	3.455
C _c =	0.686
S ₀ =	2.040

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el tesista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Número de Curva</td> <td>: 09</td> </tr> <tr> <td>Textura de Curva</td> <td>: CERRADA</td> </tr> <tr> <td>Clasificación SUCS</td> <td>: .</td> </tr> <tr> <td>Símbolo</td> <td>: SP</td> </tr> <tr> <td>Nombre</td> <td>: ARENA MAL GRADUADA</td> </tr> </table>	Número de Curva	: 09	Textura de Curva	: CERRADA	Clasificación SUCS	: .	Símbolo	: SP	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA
Número de Curva	: 09										
Textura de Curva	: CERRADA										
Clasificación SUCS	: .										
Símbolo	: SP										
Nombre	: ARENA MAL GRADUADA										



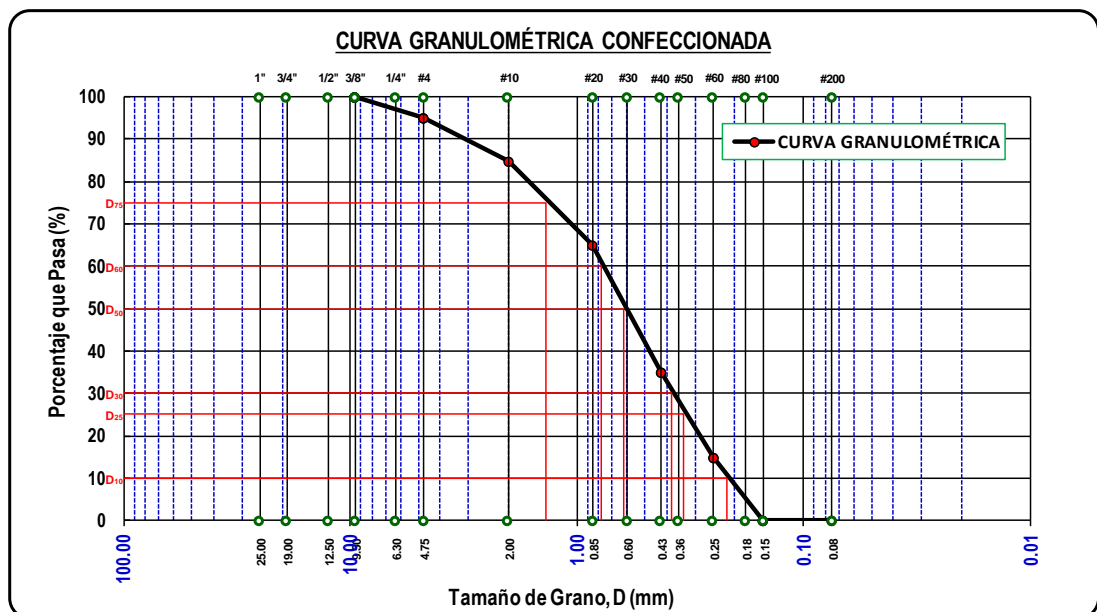
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	95.56	4.44	4.44	111.11	
#10	2.000	86.67	13.33	8.89	222.22	
#20	0.850	68.89	31.11	17.78	444.44	
#30	0.600					
#40	0.425	41.67	58.33	27.22	680.56	
#50	0.355					
#60	0.250	20.56	79.44	21.11	527.78	
#80	0.180					
#100	0.150	2.78	97.22	17.78	444.44	
#200	0.075	0.55	99.45	2.22	55.58	
BASE			100.00	0.55	13.86	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2486.14 gr.
Peso Pas. #200	: 13.86 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀ =	0.214 mm
D ₂₅ =	0.298 mm
D ₃₀ =	0.344 mm
D ₅₀ =	0.579 mm
D ₆₀ =	0.733 mm
D ₇₅ =	1.276 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u =	3.426
C _c =	0.753
S _o =	2.067

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 03, 09 y 18 de junio del 2015*

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVERSO Ensayo adaptado por el testista de acuerdo a: NORMA: ASTM D 422-98	Número de Curva	: 10
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA





TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	% Que Pasa	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Retenido (gr)	Observaciones
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	100.00	0.00	0.00	0.00	
1/4"	6.300					
#4	4.750	95.00	5.00	5.00	125.00	
#10	2.000	85.00	15.00	10.00	250.00	
#20	0.850	65.00	35.00	20.00	500.00	
#30	0.600					
#40	0.425	35.00	65.00	30.00	750.00	
#50	0.355					
#60	0.250	15.00	85.00	20.00	500.00	
#80	0.180					
#100	0.150	0.00	100.00	15.00	375.00	
#200	0.075	0.00	100.00	0.00	0.00	
BASE			100.00	0.00	0.00	
TOTAL					2500.00	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Peso Total	: 2500.00 gr.
Peso Ret. #200	: 2500.00 gr.
Peso Pas. #200	: 0.00 gr.
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
D ₁₀	= 0.217 mm
D ₂₅	= 0.356 mm
D ₃₀	= 0.393 mm
D ₅₀	= 0.670 mm
D ₆₀	= 0.795 mm
D ₇₅	= 1.463 mm
PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS	
C _u	= 3.669
C _c	= 0.897
S _o	= 2.029

* Este ensayo se realizó 03 veces por curva granulométrica por cantera, con la finalidad de obtener muestra confeccionada para los ensayos respectivos.

Anexo B. Ensayo de densidad mínima y máxima (NLT-204/72 & NLT-205/91)

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 29 de mayo del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 01
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5437	5440	5434	
Peso del Suelo (gr)	1422	1425	1419	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.514	1.518	1.511	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.514$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.300
C _C =	1.190
S ₀ =	2.139

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5821	5824	5825	
Peso del Suelo (gr)	1806	1809	1810	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.923	1.926	1.928	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.926$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.371
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.744

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 02
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5454	5456	5457	
Peso del Suelo (gr)	1439	1441	1442	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.532	1.535	1.536	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.534$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.718
C _C =	1.073
S ₀ =	2.238

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5844	5846	5844	
Peso del Suelo (gr)	1829	1831	1829	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.948	1.950	1.948	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.948$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.355
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.721

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 29 de mayo del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 03
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5469	5467	5462	
Peso del Suelo (gr)	1454	1452	1447	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.548	1.546	1.541	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.545$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.144
C _C =	0.967
S ₀ =	2.318

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5852	5854	5854	
Peso del Suelo (gr)	1837	1839	1839	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.956	1.958	1.958	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.958$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.349

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.709

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 04
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5473	5474	5475	
Peso del Suelo (gr)	1458	1459	1460	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.553	1.554	1.555	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.554$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.875
C _C =	1.009
S ₀ =	2.399



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5856	5859	5861	
Peso del Suelo (gr)	1841	1844	1846	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.961	1.964	1.966	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.963$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.345

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.700

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 05
		Textura de Curva	: ABIERTA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SW
		Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5478	5474	5472	
Peso del Suelo (gr)	1463	1459	1457	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.558	1.554	1.552	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.554$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 8.069$
 $C_C = 1.091$
 $S_0 = 2.309$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.641$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} = 0.339$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.699$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5873	5867	5863	
Peso del Suelo (gr)	1858	1852	1848	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.979	1.972	1.968	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.973$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 06
		Textura de Curva	: ABIERTA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SW
		Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5468	5470	5471	
Peso del Suelo (gr)	1453	1455	1456	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.547	1.549	1.551	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.549$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 7.830$
 $C_C = 1.038$
 $S_0 = 2.192$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.641$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



$e_{min} = 0.354$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.705$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5845	5847	5849	
Peso del Suelo (gr)	1830	1832	1834	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.949	1.951	1.953	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.951$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 07
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5462	5466	5469	
Peso del Suelo (gr)	1447	1451	1454	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.541	1.545	1.548	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.545$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.050
C _C =	1.296
S ₀ =	2.068

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5836	5835	5835	
Peso del Suelo (gr)	1821	1820	1820	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.939	1.938	1.938	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.939$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.362

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.710

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 08
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5454	5456	5456	
Peso del Suelo (gr)	1439	1441	1441	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.532	1.535	1.535	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.534$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.433
C _C =	1.306
S ₀ =	1.758



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5805	5810	5813	
Peso del Suelo (gr)	1790	1795	1798	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.906	1.912	1.915	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.911$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.382

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.722

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 01 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 09
		Textura de Curva	: ABIERTA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5442	5452	5456	
Peso del Suelo (gr)	1427	1437	1441	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.520	1.530	1.535	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.528$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	4.121
C _C =	1.152
S ₀ =	1.599

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5764	5758	5750	
Peso del Suelo (gr)	1749	1743	1735	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.863	1.856	1.848	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.855$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.423

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.728

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 10
		Textura de Curva	: ABIERTA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5442	5439	5446	
Peso del Suelo (gr)	1427	1424	1431	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.520	1.516	1.524	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.520$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.766
C _C =	0.830
S ₀ =	1.509



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5704	5703	5701	
Peso del Suelo (gr)	1689	1688	1686	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.799	1.798	1.795	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.797$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.469

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.737

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 02 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 11
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5302	5300	5299	
Peso del Suelo (gr)	1287	1285	1284	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.371	1.368	1.367	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.369$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.122
C _C =	1.284
S ₀ =	1.220

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5622	5622	5623	
Peso del Suelo (gr)	1607	1607	1608	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.711	1.711	1.712	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.712$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.543
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.929

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 12
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5314	5319	5317	
Peso del Suelo (gr)	1299	1304	1302	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.383	1.389	1.387	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.386$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.418
C _C =	1.375
S ₀ =	1.251

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5674	5671	5674	
Peso del Suelo (gr)	1659	1656	1659	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.767	1.764	1.767	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.766$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.496
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.905

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 02 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 13
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5343	5348	5343	
Peso del Suelo (gr)	1328	1333	1328	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.414	1.420	1.414	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.416$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	2.888
$C_C =$	1.530
$S_0 =$	1.287

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.466
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.865
-------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 14
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5362	5364	5359	
Peso del Suelo (gr)	1347	1349	1344	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.434	1.437	1.431	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.434$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	3.286
$C_C =$	1.606
$S_0 =$	1.330

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.641



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.451
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.842
-------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 02 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 15
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5385	5382	5388	
Peso del Suelo (gr)	1370	1367	1373	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.459	1.456	1.462	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.459$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.716
C _C =	1.652
S ₀ =	1.383

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5759	5763	5760	
Peso del Suelo (gr)	1744	1748	1745	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.857	1.861	1.858	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.859$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.421

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.810

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 16
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5401	5402	5401	
Peso del Suelo (gr)	1386	1387	1386	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.476	1.477	1.476	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.476$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	4.306
C _C =	1.708
S ₀ =	1.507



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5776	5777	5779	
Peso del Suelo (gr)	1761	1762	1764	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.875	1.876	1.879	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.877$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.407

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.789

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 02 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 17
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5424	5424	5422	
Peso del Suelo (gr)	1409	1409	1407	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.500	1.500	1.498	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.500$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.124
C _C =	1.766
S ₀ =	1.697

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5807	5812	5814	
Peso del Suelo (gr)	1792	1797	1799	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.908	1.914	1.916	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.913$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.381
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.761

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 18
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5441	5433	5437	
Peso del Suelo (gr)	1426	1418	1422	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.519	1.510	1.514	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.514$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.551
C _C =	1.609
S ₀ =	1.903

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5826	5822	5826	
Peso del Suelo (gr)	1811	1807	1811	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.929	1.924	1.929	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.927$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.370
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.744

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 02 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 19
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5451	5452	5456	
Peso del Suelo (gr)	1436	1437	1441	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.529	1.530	1.535	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.531$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	6.003
$C_C =$	1.433
$S_0 =$	2.137

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.360
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.725
-------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 20
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5475	5467	5472	
Peso del Suelo (gr)	1460	1452	1457	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.555	1.546	1.552	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.551$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	6.497
$C_C =$	1.222
$S_0 =$	2.419

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.641



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.339
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.703
-------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 04 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 21
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5266	5264	5262	
Peso del Suelo (gr)	1251	1249	1247	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.332	1.330	1.328	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.330$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

C _U =	2.251
C _C =	1.102
S ₀ =	1.451

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

G _S =	2.641
------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

e _{min} =	0.521
--------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

e _{máx} =	0.986
--------------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5646	5646	5646	
Peso del Suelo (gr)	1631	1631	1631	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.737	1.737	1.737	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{máx} = 1.737$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 22
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5290	5295	5294	
Peso del Suelo (gr)	1275	1280	1279	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.358	1.363	1.362	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.361$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

C _U =	2.252
C _C =	1.136
S ₀ =	1.476

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

G _S =	2.641
------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



e _{min} =	0.499
--------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

e _{máx} =	0.941
--------------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5671	5667	5669	
Peso del Suelo (gr)	1656	1652	1654	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.764	1.759	1.761	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{máx} = 1.761$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 04 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 23
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5319	5320	5319	
Peso del Suelo (gr)	1304	1305	1304	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.389	1.390	1.389	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.389$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.480
C _C =	1.055
S ₀ =	1.493

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5691	5689	5692	
Peso del Suelo (gr)	1676	1674	1677	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.785	1.783	1.786	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.784$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.480
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.901

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 24
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5343	5340	5346	
Peso del Suelo (gr)	1328	1325	1331	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.414	1.411	1.417	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.414$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.663
C _C =	0.993
S ₀ =	1.503

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5703	5710	5707	
Peso del Suelo (gr)	1688	1695	1692	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.798	1.805	1.802	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.802$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.466
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.867

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 04 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 25
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5356	5361	5354	
Peso del Suelo (gr)	1341	1346	1339	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.428	1.433	1.426	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.429$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	2.794
$C_C =$	0.941
$S_0 =$	1.739

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.458
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.848
-------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 26
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5368	5373	5374	
Peso del Suelo (gr)	1353	1358	1359	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.441	1.446	1.447	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.445$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	2.864
$C_C =$	0.894
$S_0 =$	1.842

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.641



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.446
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.828
-------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 04 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 27
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5383	5381	5390	
Peso del Suelo (gr)	1368	1366	1375	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.457	1.455	1.464	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.459$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 3.277$
 $C_C = 0.689$
 $S_0 = 1.881$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.641$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} = 0.431$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.811$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5748	5748	5749	
Peso del Suelo (gr)	1733	1733	1734	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.846	1.846	1.847	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.846$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS	Número de Curva	: 28
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5396	5397	5394	
Peso del Suelo (gr)	1381	1382	1379	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.471	1.472	1.469	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.470$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 3.455$
 $C_C = 0.686$
 $S_0 = 2.040$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.641$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



$e_{min} = 0.429$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.796$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5751	5748	5751	
Peso del Suelo (gr)	1736	1733	1736	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.849	1.846	1.849	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.848$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 05 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 29
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5401	5405	5407	
Peso del Suelo (gr)	1386	1390	1392	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.476	1.480	1.482	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.480$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.426
C _C =	0.753
S ₀ =	2.067

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5743	5745	5740	
Peso del Suelo (gr)	1728	1730	1725	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.840	1.842	1.837	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.840$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.435

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.785

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: MARAVILLAS		Número de Curva	: 30
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5407	5408	5406	
Peso del Suelo (gr)	1392	1393	1391	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.482	1.483	1.481	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.482$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.669
C _C =	0.897
S ₀ =	2.029



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5736	5737	5735	
Peso del Suelo (gr)	1721	1722	1720	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.833	1.834	1.832	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.833$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.641

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.441

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.782

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 07 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 01
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5422	5420	5424	
Peso del Suelo (gr)	1407	1405	1409	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.498	1.496	1.500	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.498$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	5.300
$C_C =$	1.190
$S_0 =$	2.139

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.633

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.368
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.757
-------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 02
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5438	5435	5435	
Peso del Suelo (gr)	1423	1420	1420	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.515	1.512	1.512	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.513$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	5.718
$C_C =$	1.073
$S_0 =$	2.238

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.633



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.357
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.740
-------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 07 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 03
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5451	5449	5444	
Peso del Suelo (gr)	1436	1434	1429	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.529	1.527	1.522	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.526$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.144
C _C =	0.967
S ₀ =	2.318

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5851	5845	5844	
Peso del Suelo (gr)	1836	1830	1829	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.955	1.949	1.948	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.951$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.350

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.725

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 04
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5447	5450	5457	
Peso del Suelo (gr)	1432	1435	1442	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.525	1.528	1.536	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.530$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.875
C _C =	1.009
S ₀ =	2.399



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5858	5849	5849	
Peso del Suelo (gr)	1843	1834	1834	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.963	1.953	1.953	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.956$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.346

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.721

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 07 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 05
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5458	5452	5459	
Peso del Suelo (gr)	1443	1437	1444	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.537	1.530	1.538	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.535$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	8.069
C _C =	1.091
S ₀ =	2.309

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5858	5861	5863	
Peso del Suelo (gr)	1843	1846	1848	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.963	1.966	1.968	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.966$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.340
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.715

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 06
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5442	5445	5442	
Peso del Suelo (gr)	1427	1430	1427	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.520	1.523	1.520	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.521$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.830
C _C =	1.038
S ₀ =	2.192

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5835	5840	5843	
Peso del Suelo (gr)	1820	1825	1828	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.938	1.943	1.947	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.943$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.355
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.731

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 07 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 07
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5442	5437	5443	
Peso del Suelo (gr)	1427	1422	1428	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.520	1.514	1.521	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.518$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 7.050$
 $C_C = 1.296$
 $S_0 = 2.068$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.633$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} = 0.366$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.734$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5828	5822	5827	
Peso del Suelo (gr)	1813	1807	1812	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.931	1.924	1.930	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.928$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 08
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5428	5417	5423	
Peso del Suelo (gr)	1413	1402	1408	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.505	1.493	1.499	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.499$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 5.433$
 $C_C = 1.306$
 $S_0 = 1.758$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.633$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



$e_{min} = 0.388$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.756$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5795	5793	5802	
Peso del Suelo (gr)	1780	1778	1787	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.896	1.893	1.903	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.897$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 07 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 09
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5407	5411	5411	
Peso del Suelo (gr)	1392	1396	1396	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.482	1.487	1.487	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.485$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 4.121$
 $C_C = 1.152$
 $S_0 = 1.599$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.633$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} = 0.432$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.773$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5741	5744	5741	
Peso del Suelo (gr)	1726	1729	1726	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.838	1.841	1.838	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.839$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 10
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5386	5390	5391	
Peso del Suelo (gr)	1371	1375	1376	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.460	1.464	1.465	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.463$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 2.766$
 $C_C = 0.830$
 $S_0 = 1.509$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.633$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



$e_{min} = 0.488$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.799$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5679	5677	5674	
Peso del Suelo (gr)	1664	1662	1659	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.772	1.770	1.767	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.770$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 08 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 11
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5279	5276	5282	
Peso del Suelo (gr)	1264	1261	1267	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.346	1.343	1.349	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.346$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.122
C _C =	1.284
S ₀ =	1.220

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5589	5591	5599	
Peso del Suelo (gr)	1574	1576	1584	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.676	1.678	1.687	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.680$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.567

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.956

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 12
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5293	5298	5302	
Peso del Suelo (gr)	1278	1283	1287	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.361	1.366	1.371	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.366$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.418
C _C =	1.375
S ₀ =	1.251



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5635	5634	5635	
Peso del Suelo (gr)	1620	1619	1620	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.725	1.724	1.725	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.725$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.527

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.928

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 08 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 13
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5319	5326	5317	
Peso del Suelo (gr)	1304	1311	1302	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.389	1.396	1.387	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.390$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	2.888
$C_C =$	1.530
$S_0 =$	1.287

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.633

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.504
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.894
-------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 14
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5345	5352	5349	
Peso del Suelo (gr)	1330	1337	1334	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.416	1.424	1.421	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.420$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	3.286
$C_C =$	1.606
$S_0 =$	1.330

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.633



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.476
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.854
-------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 08 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 15
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5358	5353	5358	
Peso del Suelo (gr)	1343	1338	1343	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.430	1.425	1.430	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.428$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	3.716
$C_C =$	1.652
$S_0 =$	1.383

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s =$	2.633
---------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.451
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.843
-------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5715	5720	5723	
Peso del Suelo (gr)	1700	1705	1708	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.810	1.816	1.819	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.815$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 16
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5377	5378	5379	
Peso del Suelo (gr)	1362	1363	1364	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.450	1.451	1.453	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.451$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	4.306
$C_C =$	1.708
$S_0 =$	1.507

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s =$	2.633
---------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



$e_{min} =$	0.425
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.814
-------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5751	5748	5753	
Peso del Suelo (gr)	1736	1733	1738	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.849	1.846	1.851	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.848$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 08 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 17
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5389	5391	5388	
Peso del Suelo (gr)	1374	1376	1373	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.463	1.465	1.462	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{mín} = 1.464$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

C _U =	5.124
C _C =	1.766
S ₀ =	1.697

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

G _S =	2.633
------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

e _{mín} =	0.393
--------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

e _{máx} =	0.799
--------------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5791	5791	5788	
Peso del Suelo (gr)	1776	1776	1773	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.891	1.891	1.888	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{máx} = 1.890$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 18
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5414	5413	5418	
Peso del Suelo (gr)	1399	1398	1403	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.490	1.489	1.494	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{mín} = 1.491$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

C _U =	5.551
C _C =	1.609
S ₀ =	1.903

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

G _S =	2.633
------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



e _{mín} =	0.384
--------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

e _{máx} =	0.766
--------------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5802	5801	5803	
Peso del Suelo (gr)	1787	1786	1788	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.903	1.902	1.904	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{máx} = 1.903$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 08 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 19
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SW
		Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5435	5432	5434	
Peso del Suelo (gr)	1420	1417	1419	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.512	1.509	1.511	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.511$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 6.003$
 $C_C = 1.433$
 $S_0 = 2.137$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.633$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} = 0.365$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.743$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5824	5826	5828	
Peso del Suelo (gr)	1809	1811	1813	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.926	1.929	1.931	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.929$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 20
		Textura de Curva	: MEDIA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SW
		Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5444	5447	5449	
Peso del Suelo (gr)	1429	1432	1434	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.522	1.525	1.527	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.525$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 6.497$
 $C_C = 1.222$
 $S_0 = 2.419$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.633$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



$e_{min} = 0.363$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 0.727$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5830	5829	5829	
Peso del Suelo (gr)	1815	1814	1814	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.933	1.932	1.932	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.932$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 10 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 21
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5223	5223	5223	
Peso del Suelo (gr)	1208	1208	1208	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.286	1.286	1.286	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.286$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 2.251$
 $C_C = 1.102$
 $S_0 = 1.451$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.633$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} = 0.551$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 1.047$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5609	5608	5609	
Peso del Suelo (gr)	1594	1593	1594	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.697	1.696	1.697	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.697$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 22
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5248	5254	5250	
Peso del Suelo (gr)	1233	1239	1235	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.313	1.319	1.315	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.316$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U = 2.252$
 $C_C = 1.136$
 $S_0 = 1.476$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s = 2.633$

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



$e_{min} = 0.527$

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} = 1.001$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5634	5634	5635	
Peso del Suelo (gr)	1619	1619	1620	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.724	1.724	1.725	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.724$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 10 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 23
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5280	5279	5280	
Peso del Suelo (gr)	1265	1264	1265	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.347	1.346	1.347	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.347$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.480
C _C =	1.055
S ₀ =	1.493

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5655	5657	5656	
Peso del Suelo (gr)	1640	1642	1641	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.746	1.749	1.748	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.748$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.507

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.955

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 24
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5305	5303	5305	
Peso del Suelo (gr)	1290	1288	1290	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.374	1.372	1.374	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.373$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.663
C _C =	0.993
S ₀ =	1.503



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5670	5669	5672	
Peso del Suelo (gr)	1655	1654	1657	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.762	1.761	1.765	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.763$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.494

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.918

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 10 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 25
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5324	5329	5326	
Peso del Suelo (gr)	1309	1314	1311	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.394	1.399	1.396	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.396$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.794
C _C =	0.941
S ₀ =	1.739

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5689	5682	5686	
Peso del Suelo (gr)	1674	1667	1671	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.783	1.775	1.779	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.779$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.480
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.885

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 26
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5350	5347	5352	
Peso del Suelo (gr)	1335	1332	1337	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.422	1.418	1.424	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.421$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.864
C _C =	0.894
S ₀ =	1.842

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5699	5698	5699	
Peso del Suelo (gr)	1684	1683	1684	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.793	1.792	1.793	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.793$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.469
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.852

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 10 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 27
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5368	5361	5362	
Peso del Suelo (gr)	1353	1346	1347	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.441	1.433	1.434	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.436$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.277
C _C =	0.689
S ₀ =	1.881

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5720	5715	5716	
Peso del Suelo (gr)	1705	1700	1701	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.816	1.810	1.811	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.813$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.453
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.833

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 28
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5374	5376	5379	
Peso del Suelo (gr)	1359	1361	1364	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.447	1.449	1.453	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.450$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.455
C _C =	0.686
S ₀ =	2.040

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5722	5720	5724	
Peso del Suelo (gr)	1707	1705	1709	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.818	1.816	1.820	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.818$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.448
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.816

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 11 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 29
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5382	5386	5383	
Peso del Suelo (gr)	1367	1371	1368	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.456	1.460	1.457	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.458$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.426
C _C =	0.753
S ₀ =	2.067

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5716	5718	5718	
Peso del Suelo (gr)	1701	1703	1703	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.811	1.814	1.814	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.813$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.452
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.806

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: UNOCOLLA		Número de Curva	: 30
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5385	5385	5392	
Peso del Suelo (gr)	1370	1370	1377	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.459	1.459	1.466	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.461$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.669
C _C =	0.897
S ₀ =	2.029

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5714	5712	5713	
Peso del Suelo (gr)	1699	1697	1698	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.809	1.807	1.808	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.808$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.633
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.456
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.802

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 12 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA		Número de Curva	: 01
		Textura de Curva	: ABIERTA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5475	5479	5471	
Peso del Suelo (gr)	1460	1464	1456	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.555	1.559	1.551	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.555$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	5.300
$C_C =$	1.190
$S_0 =$	2.139

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s =$	2.665
---------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.351
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.714
-------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5868	5866	5870	
Peso del Suelo (gr)	1853	1851	1855	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.973	1.971	1.975	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.973$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA		Número de Curva	: 02
		Textura de Curva	: ABIERTA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5498	5494	5499	
Peso del Suelo (gr)	1483	1479	1484	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.579	1.575	1.580	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.578$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	5.718
$C_C =$	1.073
$S_0 =$	2.238

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s =$	2.665
---------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



$e_{min} =$	0.333
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.689
-------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5895	5888	5893	
Peso del Suelo (gr)	1880	1873	1878	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.002	1.995	2.000	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.999$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 12 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA		Número de Curva	: 03
		Textura de Curva	: ABIERTA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5503	5503	5503	
Peso del Suelo (gr)	1488	1488	1488	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.585	1.585	1.585	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.585$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.144
C _C =	0.967
S ₀ =	2.318

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5896	5894	5899	
Peso del Suelo (gr)	1881	1879	1884	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.003	2.001	2.006	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 2.003$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.330
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.682

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA		Número de Curva	: 04
		Textura de Curva	: ABIERTA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SW
		Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5508	5512	5508	
Peso del Suelo (gr)	1493	1497	1493	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.590	1.594	1.590	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.591$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.875
C _C =	1.009
S ₀ =	2.399

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5911	5907	5909	
Peso del Suelo (gr)	1896	1892	1894	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.019	2.015	2.017	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 2.017$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.321
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.675

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 12 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 05
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5519	5514	5517	
Peso del Suelo (gr)	1504	1499	1502	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.602	1.596	1.600	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.599$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	8.069
$C_C =$	1.091
$S_0 =$	2.309

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s =$	2.665
---------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.313
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.666
-------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5924	5919	5920	
Peso del Suelo (gr)	1909	1904	1905	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	2.033	2.028	2.029	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 2.030$			

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 06
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5507	5502	5502	
Peso del Suelo (gr)	1492	1487	1487	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.589	1.584	1.584	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.585$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	7.830
$C_C =$	1.038
$S_0 =$	2.192

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA

$G_s =$	2.665
---------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO



$e_{min} =$	0.334
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.681
-------------	-------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5892	5888	5891	
Peso del Suelo (gr)	1877	1873	1876	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.999	1.995	1.998	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.997$			

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 12 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 07
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5498	5497	5497	
Peso del Suelo (gr)	1483	1482	1482	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.579	1.578	1.578	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.579$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.050
C _C =	1.296
S ₀ =	2.068

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5878	5879	5879	
Peso del Suelo (gr)	1863	1864	1864	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.984	1.985	1.985	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.985$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.343

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.688

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 08
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5488	5484	5481	
Peso del Suelo (gr)	1473	1469	1466	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.569	1.564	1.561	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.565$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.433
C _C =	1.306
S ₀ =	1.758



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5851	5844	5849	
Peso del Suelo (gr)	1836	1829	1834	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.955	1.948	1.953	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.952$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.365

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.703

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 12 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 09
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5469	5467	5460	
Peso del Suelo (gr)	1454	1452	1445	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.548	1.546	1.539	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.544$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	4.121
C _C =	1.152
S ₀ =	1.599

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5789	5789	5788	
Peso del Suelo (gr)	1774	1774	1773	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.889	1.889	1.888	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.889$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.411
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.725

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 10
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5445	5458	5450	
Peso del Suelo (gr)	1430	1443	1435	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.523	1.537	1.528	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.529$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.766
C _C =	0.830
S ₀ =	1.509

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5722	5726	5723	
Peso del Suelo (gr)	1707	1711	1708	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.818	1.822	1.819	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.820$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.465
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.743

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI FECHA : 16 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 11
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5314	5314	5317	
Peso del Suelo (gr)	1299	1299	1302	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.383	1.383	1.387	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.384$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	2.122
$C_C =$	1.284
$S_0 =$	1.220

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.540
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.925
-------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 12
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5339	5340	5338	
Peso del Suelo (gr)	1324	1325	1323	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.410	1.411	1.409	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.410$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	2.418
$C_C =$	1.375
$S_0 =$	1.251

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.665



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.496
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.890
-------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 16 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 13
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5363	5360	5360	
Peso del Suelo (gr)	1348	1345	1345	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.436	1.432	1.432	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.433$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.888
C _C =	1.530
S ₀ =	1.287

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5719	5713	5718	
Peso del Suelo (gr)	1704	1698	1703	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.815	1.808	1.814	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.812$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.471
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.859

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 14
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5382	5388	5387	
Peso del Suelo (gr)	1367	1373	1372	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.456	1.462	1.461	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.460$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.286
C _C =	1.606
S ₀ =	1.330

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5760	5754	5756	
Peso del Suelo (gr)	1745	1739	1741	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.858	1.852	1.854	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.855$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.437
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.826

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 16 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 15
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5405	5412	5401	
Peso del Suelo (gr)	1390	1397	1386	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.480	1.488	1.476	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.481$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.716
C _C =	1.652
S ₀ =	1.383

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5786	5781	5782	
Peso del Suelo (gr)	1771	1766	1767	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.886	1.881	1.882	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.883$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.415
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.799

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 16
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5423	5422	5428	
Peso del Suelo (gr)	1408	1407	1413	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.499	1.498	1.505	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.501$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	4.306
C _C =	1.708
S ₀ =	1.507

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5816	5811	5817	
Peso del Suelo (gr)	1801	1796	1802	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.918	1.913	1.919	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.917$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.391
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.776

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 16 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 17
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5444	5449	5443	
Peso del Suelo (gr)	1429	1434	1428	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.522	1.527	1.521	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{mín} = 1.523$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.124
C _C =	1.766
S ₀ =	1.697

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5844	5843	5845	
Peso del Suelo (gr)	1829	1828	1830	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.948	1.947	1.949	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{máx} = 1.948$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{mín} =	0.368

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{máx} =	0.750

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 18
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5464	5462	5460	
Peso del Suelo (gr)	1449	1447	1445	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.543	1.541	1.539	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{mín} = 1.541$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.551
C _C =	1.609
S ₀ =	1.903



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5880	5873	5879	
Peso del Suelo (gr)	1865	1858	1864	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.986	1.979	1.985	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{máx} = 1.983$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{mín} =	0.344

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{máx} =	0.729

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 16 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 19
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5487	5477	5480	
Peso del Suelo (gr)	1472	1462	1465	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.568	1.557	1.560	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.562$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	6.003
$C_C =$	1.433
$S_0 =$	2.137

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.328
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.707
-------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 20
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5493	5502	5504	
Peso del Suelo (gr)	1478	1487	1489	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.574	1.584	1.586	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.581$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	6.497
$C_C =$	1.222
$S_0 =$	2.419

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.665



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.312
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.686
-------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 19 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 21
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5295	5299	5296	
Peso del Suelo (gr)	1280	1284	1281	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.363	1.367	1.364	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.365$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	2.251
$C_C =$	1.102
$S_0 =$	1.451

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.473
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.953
-------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 22
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5321	5323	5323	
Peso del Suelo (gr)	1306	1308	1308	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.391	1.393	1.393	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.392$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	2.252
$C_C =$	1.136
$S_0 =$	1.476

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.665



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.456
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.914
-------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 19 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 23
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5348	5349	5350	
Peso del Suelo (gr)	1333	1334	1335	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.420	1.421	1.422	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.421$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.480
C _C =	1.055
S ₀ =	1.493

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5745	5744	5750	
Peso del Suelo (gr)	1730	1729	1735	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.842	1.841	1.848	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.844$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.445
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.876

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 24
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5371	5379	5378	
Peso del Suelo (gr)	1356	1364	1363	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.444	1.453	1.451	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.449$			



MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.663
C _C =	0.993
S ₀ =	1.503

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5761	5757	5758	
Peso del Suelo (gr)	1746	1742	1743	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.859	1.855	1.856	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.857$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665
RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.435
RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.839

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 19 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 25
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5401	5397	5399	
Peso del Suelo (gr)	1386	1382	1384	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.476	1.472	1.474	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.474$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

C _U =	2.794
C _C =	0.941
S ₀ =	1.739

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

e _{min} =	0.424
--------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

e _{máx} =	0.808
--------------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 26
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5415	5417	5414	
Peso del Suelo (gr)	1400	1402	1399	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.491	1.493	1.490	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.491$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

C _U =	2.864
C _C =	0.894
S ₀ =	1.842

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

e _{min} =	0.412
--------------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

e _{máx} =	0.787
--------------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 19 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 27
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5425	5426	5427	
Peso del Suelo (gr)	1410	1411	1412	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.502	1.503	1.504	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.503$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	3.277
$C_C =$	0.689
$S_0 =$	1.881

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.410
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.774
-------------	-------

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA	Número de Curva	: 28
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5440	5437	5435	
Peso del Suelo (gr)	1425	1422	1420	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.518	1.514	1.512	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.515$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$C_U =$	3.455
$C_C =$	0.686
$S_0 =$	2.040

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
$G_s =$	2.665



RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO

$e_{min} =$	0.406
-------------	-------

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO

$e_{max} =$	0.759
-------------	-------

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 19 de junio del 2015

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA		Número de Curva	: 29
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5447	5441	5442	
Peso del Suelo (gr)	1432	1426	1427	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.525	1.519	1.520	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.521$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.426
C _C =	0.753
S ₀ =	2.067

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5779	5779	5778	
Peso del Suelo (gr)	1764	1764	1763	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.879	1.879	1.877	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.878$			

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.419

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.752

ENSAYO: DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA NORMAS: NLT-204/72 y NLT-205/91 CANTERA: ISLA		Número de Curva	: 30
		Textura de Curva	: CERRADA
		Clasificación SUCS	:
		Símbolo	: SP
		Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5442	5447	5446	
Peso del Suelo (gr)	1427	1432	1431	
Densidad Mínima Parcial (gr/cm ³)	1.520	1.525	1.524	
DENSIDAD MÍNIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{min} = 1.523$			

MEDIDAS DEL MOLDE	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.669
C _C =	0.897
S ₀ =	2.029

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Molde	M-001	M-001	M-001	
Peso del Molde (gr)	4015	4015	4015	
Volumen del Molde (cm ³)*	939.03	939.03	939.03	
Peso del Molde + Suelo (gr)	5772	5772	5776	
Peso del Suelo (gr)	1757	1757	1761	
Densidad Máxima Parcial (gr/cm ³)	1.871	1.871	1.875	
DENSIDAD MÁXIMA FINAL (gr/cm³)	$\rho_{max} = 1.872$			



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G _S =	2.665

RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMO	
e _{min} =	0.423

RELACIÓN DE VACÍOS MÁXIMO	
e _{max} =	0.750

* Volumen de molde calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de llenado de agua.

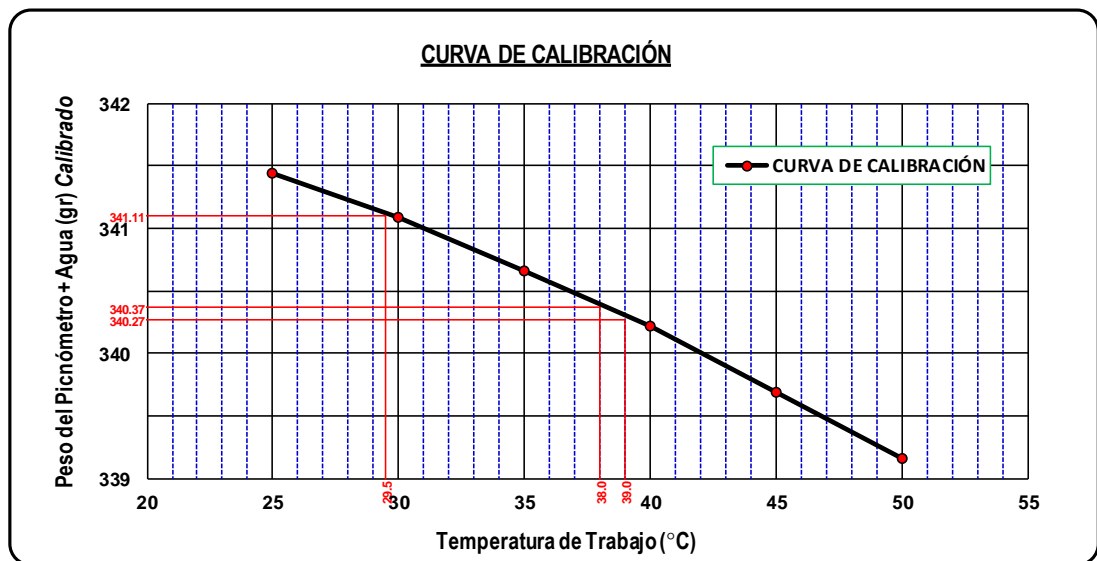
Anexo C. Ensayo de gravedad específica (ASTM D 854-00)

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 31 de agosto del 2015



ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA NORMA: ASTM D 854-00 CANTERA: MARAVILLAS	Método de Prueba	: Bomba de Vacíos
	Capacidad de Picnómetro	: 250 ml
	Clasificación SUCS	:
	Curva 05 - SW	: ARENA BIEN GRADUADA
	Curva 15 y 25 - SP	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO					
Número de Ensayo	01	02	03	04	05	06
Número del Picnómetro	P-001	P-001	P-001	P-001	P-001	P-001
Peso del Picnómetro (gr)	92.31	92.31	92.31	92.31	92.31	92.31
Volumen Calibrado del Picnómetro (cm ³)	250	250	250	250	250	250
Temperatura de Trabajo (°C)	50	45	40	35	30	25
Temperatura de Calibración (°C)	20	20	20	20	20	20
Coeficiente Térmico de Expansión (°C ⁻¹)	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Densidad del Agua (gr/cm ³)	0.98807	0.99016	0.99224	0.99396	0.99568	0.99707
Densidad del Aire (gr/cm ³)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Laboratorio</i>	339.33	339.85	340.37	340.80	341.23	341.58
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Teórico</i>	339.00	339.54	340.07	340.51	340.96	341.32
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Calibrado</i>	339.17	339.69	340.22	340.66	341.09	341.45



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Número de Curva *	05	15	25
Número de Ensayo	01	02	03
Número del Picnómetro	P-001	P-001	P-001
Temperatura Medida (°C)	38.0	39.0	29.5
Peso del Picnómetro + Suelo + Agua (gr)	377.72	377.57	378.31
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Calibrado</i>	340.37	340.27	341.11
Peso del Suelo Seco (gr)	60	60	60
Gravedad Específica Parcial	2.649	2.643	2.631
GRAVEDAD ESPECÍFICA FINAL	G_s = 2.641		

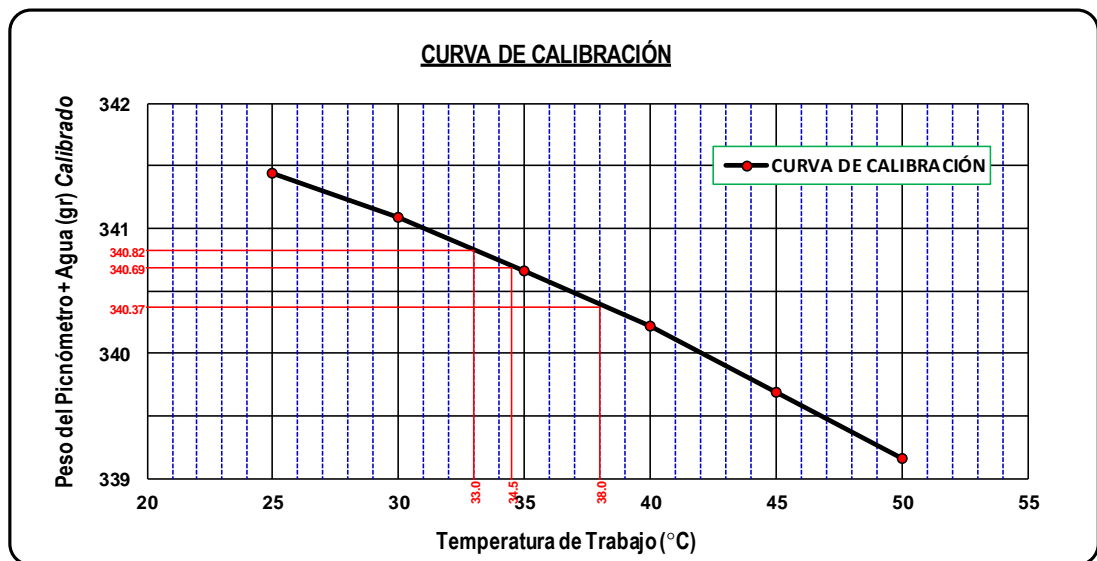
* Este ensayo se realizó 03 veces por cantera, seleccionando 03 curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada respectivamente.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 31 de agosto del 2015



ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA NORMA: ASTM D 854-00 CANTERA: UNOCOLLA	Método de Prueba	: Bomba de Vacíos
	Capacidad de Picnómetro	: 250 ml
	Clasificación SUCS	:
	Curva 05 - SW	: ARENA BIEN GRADUADA
	Curva 15 y 25 - SP	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO					
Número de Ensayo	01	02	03	04	05	06
Número del Picnómetro	P-001	P-001	P-001	P-001	P-001	P-001
Peso del Picnómetro (gr)	92.31	92.31	92.31	92.31	92.31	92.31
Volumen Calibrado del Picnómetro (cm ³)	250	250	250	250	250	250
Temperatura de Trabajo (°C)	50	45	40	35	30	25
Temperatura de Calibración (°C)	20	20	20	20	20	20
Coeficiente Térmico de Expansión (°C ⁻¹)	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Densidad del Agua (gr/cm ³)	0.98807	0.99016	0.99224	0.99396	0.99568	0.99707
Densidad del Aire (gr/cm ³)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Laboratorio</i>	339.33	339.85	340.37	340.80	341.23	341.58
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Teórico</i>	339.00	339.54	340.07	340.51	340.96	341.32
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Calibrado</i>	339.17	339.69	340.22	340.66	341.09	341.45



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Número de Curva *	05	15	25
Número de Ensayo	01	02	03
Número del Picnómetro	P-001	P-001	P-001
Temperatura Medida (°C)	38.0	33.0	34.5
Peso del Picnómetro + Suelo + Agua (gr)	377.58	377.93	378.01
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Calibrado</i>	340.37	340.82	340.69
Peso del Suelo Seco (gr)	60	60	60
Gravedad Específica Parcial	2.632	2.621	2.646
GRAVEDAD ESPECÍFICA FINAL	G_s = 2.633		

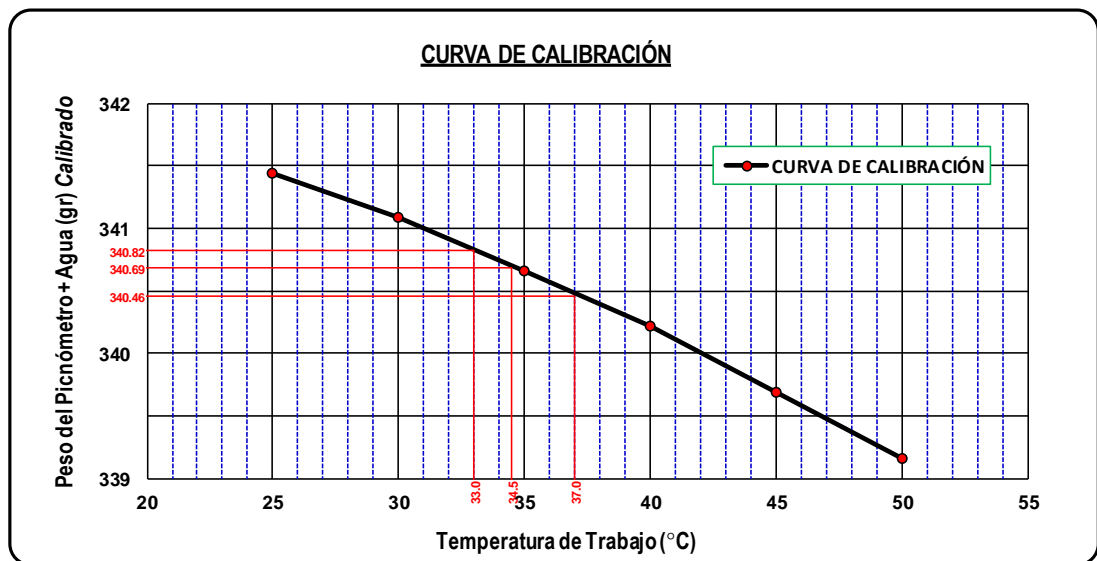
* Este ensayo se realizó 03 veces por cantera, seleccionando 03 curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada respectivamente.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"	
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO	
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA : 31 de agosto del 2015

ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA NORMA: ASTM D 854-00 CANTERA: ISLA	Método de Prueba : Bomba de Vacíos
	Capacidad de Picnómetro : 250 ml
	Clasificación SUCS :
	Curva 05 - SW : ARENA BIEN GRADUADA
	Curva 15 y 25 - SP : ARENA MAL GRADUADA



DESCRIPCIÓN	CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO					
Número de Ensayo	01	02	03	04	05	06
Número del Picnómetro	P-001	P-001	P-001	P-001	P-001	P-001
Peso del Picnómetro (gr)	92.31	92.31	92.31	92.31	92.31	92.31
Volumen Calibrado del Picnómetro (cm ³)	250	250	250	250	250	250
Temperatura de Trabajo (°C)	50	45	40	35	30	25
Temperatura de Calibración (°C)	20	20	20	20	20	20
Coeficiente Térmico de Expansión (°C ⁻¹)	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Densidad del Agua (gr/cm ³)	0.98807	0.99016	0.99224	0.99396	0.99568	0.99707
Densidad del Aire (gr/cm ³)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Laboratorio</i>	339.33	339.85	340.37	340.80	341.23	341.58
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Teórico</i>	339.00	339.54	340.07	340.51	340.96	341.32
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Calibrado</i>	339.17	339.69	340.22	340.66	341.09	341.45



DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Número de Curva *	05	15	25
Número de Ensayo	01	02	03
Número del Picnómetro	P-001	P-001	P-001
Temperatura Medida (°C)	33.0	37.0	34.5
Peso del Picnómetro + Suelo + Agua (gr)	378.27	377.83	378.32
Peso del Picnómetro + Agua (gr) <i>Calibrado</i>	340.82	340.46	340.69
Peso del Suelo Seco (gr)	60	60	60
Gravedad Específica Parcial	2.661	2.652	2.682
GRAVEDAD ESPECÍFICA FINAL	G_s = 2.665		

* Este ensayo se realizó 03 veces por cantera, seleccionando 03 curvas granulométricas de textura abierta, media y cerrada respectivamente.

Anexo D. Ensayo de permeabilidad de carga constante (ASTM D 5084-00)

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 02 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 01
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1609	1609	1609	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	322	322	322	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	485.09	493.65	489.29	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00330	0.00324	0.00327	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00327			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.300
C _C =	1.190
S _O =	2.139
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.712 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00362 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 02
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1624	1624	1624	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	325	325	325	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	374.00	379.88	385.34	
Temperatura Medida (°C)	17.0	17.0	17.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0109	0.0109	0.0109	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00428	0.00421	0.00415	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00422			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	5.718
C _C =	1.073
S _O =	2.238
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.727 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00455 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 02 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 03
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1635	1635	1635	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	327	327	327	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	306.31	301.91	310.70	
Temperatura Medida (°C)	17.0	17.0	17.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0109	0.0109	0.0109	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00523	0.00530	0.00515	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00523			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.144
C _C =	0.967
S _O =	2.318
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.738 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00564 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 04
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1639	1639	1639	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	328	328	328	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	201.56	207.11	203.01	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00794	0.00773	0.00789	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00785			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.875
C _C =	1.009
S _O =	2.399
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.743 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00869 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 02 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 05
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1646	1646	1646	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	329	329	329	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	164.99	169.89	174.55	
Temperatura Medida (°C)	16.5	16.5	16.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0110	0.0110	0.0110	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00970	0.00942	0.00917	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00943			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	8.069
C _C =	1.091
S _O =	2.309
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.750 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.01030 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 06
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1628	1628	1628	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	326	326	326	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	74.00	76.76	78.45	
Temperatura Medida (°C)	16.5	16.5	16.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0110	0.0110	0.0110	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.02164	0.02086	0.02041	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.02097			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	7.830
C _C =	1.038
S _O =	2.192
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.732 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.02290 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 02 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 07
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
	Nombre	: ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1620	1620	1620	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	324	324	324	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$$C_U = 7.050$$

$$C_C = 1.296$$

$$S_O = 2.068$$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

DENSIDAD NATURAL

$$\rho_{nat} = 1.723 \text{ gr/cm}^3$$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)

$$\nu = 0.0101 \text{ cm}^2/\text{s}$$

COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA

$$k_{20^\circ\text{C}} = 0.03017 \text{ cm/s}$$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	55.62	56.12	62.65	
Temperatura Medida (°C)	16.5	16.5	16.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0110	0.0110	0.0110	
Coeficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.02879	0.02853	0.02556	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.02762			

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 08
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1597	1597	1597	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	319	319	319	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$$C_U = 5.433$$

$$C_C = 1.306$$

$$S_O = 1.758$$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

DENSIDAD NATURAL

$$\rho_{nat} = 1.698 \text{ gr/cm}^3$$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)



$$\nu = 0.0101 \text{ cm}^2/\text{s}$$

COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA

$$k_{20^\circ\text{C}} = 0.04876 \text{ cm/s}$$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	34.28	33.95	36.74	
Temperatura Medida (°C)	17.5	17.5	17.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0108	0.0108	0.0108	
Coeficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.04670	0.04716	0.04358	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.04581			

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 02 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 09
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1563	1563	1563	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	313	313	313	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	25.44	26.20	34.17	
Temperatura Medida (°C)	17.5	17.5	17.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0108	0.0108	0.0108	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.06293	0.06111	0.04686	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.05697			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	4.121
C _C =	1.152
S _O =	1.599
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.662 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.06063 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 10
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1520	1520	1520	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	304	304	304	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	12.76	13.00	12.43	
Temperatura Medida (°C)	17.5	17.5	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0108	0.0108	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.12547	0.12316	0.12880	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.12581			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.766
C _C =	0.830
S _O =	1.509
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.616 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.13565 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 03 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 11
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1423	1423	1423	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	285	285	285	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	32.19	33.75	34.41	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.04974	0.04744	0.04653	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.04790			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.122
C _C =	1.284
S _O =	1.220
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.513 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.05298 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 12
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1453	1453	1453	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	291	291	291	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	56.41	56.66	57.69	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.02838	0.02826	0.02775	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.02813			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.418
C _C =	1.375
S _O =	1.251
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.545 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.03111 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 03 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 13
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1477	1477	1477	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	295	295	295	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	70.97	71.71	72.91	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	15.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0113	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.02256	0.02233	0.02196	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.02228			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.888
C _C =	1.530
S _O =	1.287
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.570 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.02475 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 14
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1507	1507	1507	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	301	301	301	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	91.41	95.14	96.67	
Temperatura Medida (°C)	15.0	15.5	15.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0115	0.0113	0.0113	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.01751	0.01683	0.01656	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.01697			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.286
C _C =	1.606
S _O =	1.330
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.602 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.01910 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 03 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 15
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1525	1525	1525	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	305	305	305	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	123.56	130.82	134.66	
Temperatura Medida (°C)	15.0	15.0	15.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0115	0.0115	0.0115	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.01296	0.01224	0.01189	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.01236			

MEDIDAS DE LA MUESTRA
h = 11.64 cm
d = 10.14 cm
A = 80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS
C _U = 3.716
C _C = 1.652
S _O = 1.383
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
DENSIDAD NATURAL
ρ _{nat} = 1.622 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)
v = 0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA
k _{20°C} = 0.01403 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 16
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1551	1551	1551	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	310	310	310	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	170.88	177.37	180.76	
Temperatura Medida (°C)	14.0	14.5	14.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0118	0.0116	0.0116	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00937	0.00903	0.00886	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00908			

MEDIDAS DE LA MUESTRA
h = 11.64 cm
d = 10.14 cm
A = 80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS
C _U = 4.306
C _C = 1.708
S _O = 1.507
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
DENSIDAD NATURAL
ρ _{nat} = 1.650 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)
v = 0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA
k _{20°C} = 0.01049 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
FECHA	: 03 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 17
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
		Nombre
		: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1577	1577	1577	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	315	315	315	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$$C_U = 5.124$$

$$C_C = 1.766$$

$$S_o = 1.697$$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

DENSIDAD NATURAL

$$\rho_{nat} = 1.677 \text{ gr/cm}^3$$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)

$$\nu = 0.0101 \text{ cm}^2/\text{s}$$

COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA

$$k_{20^\circ\text{C}} = 0.00810 \text{ cm/s}$$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	214.00	224.89	220.44	
Temperatura Medida (°C)	15.5	16.0	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0113	0.0112	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00748	0.00712	0.00726	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00729			

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 18
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
		Nombre
		: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1596	1596	1596	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	319	319	319	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

$$C_U = 5.551$$

$$C_C = 1.609$$

$$S_o = 1.903$$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

DENSIDAD NATURAL

$$\rho_{nat} = 1.697 \text{ gr/cm}^3$$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)



$$\nu = 0.0101 \text{ cm}^2/\text{s}$$

COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA

$$k_{20^\circ\text{C}} = 0.00614 \text{ cm/s}$$

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	290.33	300.51	296.80	
Temperatura Medida (°C)	15.0	15.0	15.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0115	0.0115	0.0115	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00551	0.00533	0.00539	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00541			

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI FECHA : 03 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 19
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
		Nombre : ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1617	1617	1617	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	323	323	323	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

C _U =	6.003
C _C =	1.433
S _O =	2.137

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

DENSIDAD NATURAL

ρ _{nat} =	1.720 gr/cm ³
--------------------	--------------------------

VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)

ν =	0.0101 cm ² /s
-----	---------------------------

COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA

k _{20°C} =	0.00490 cm/s
---------------------	--------------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	356.94	361.87	366.04	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00449	0.00442	0.00437	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00443			

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 20
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SW
		Nombre : ARENA BIEN GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1625	1625	1625	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	325	325	325	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

C _U =	6.497
C _C =	1.222
S _O =	2.419

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

DENSIDAD NATURAL

ρ _{nat} =	1.728 gr/cm ³
--------------------	--------------------------

VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)

ν =	0.0101 cm ² /s
-----	---------------------------

COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA

k _{20°C} =	0.00353 cm/s
---------------------	--------------

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	503.68	510.62	509.24	
Temperatura Medida (°C)	15.5	15.5	15.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0113	0.0113	0.0113	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00318	0.00314	0.00314	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00315			

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 04 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Número de Curva</td> <td>: 21</td> </tr> <tr> <td>Textura de Curva</td> <td>: CERRADA</td> </tr> <tr> <td>Clasificación SUCS</td> <td>:</td> </tr> <tr> <td>Símbolo</td> <td>: SP</td> </tr> <tr> <td>Nombre</td> <td>: ARENA MAL GRADUADA</td> </tr> </table>	Número de Curva	: 21	Textura de Curva	: CERRADA	Clasificación SUCS	:	Símbolo	: SP	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA
Número de Curva	: 21										
Textura de Curva	: CERRADA										
Clasificación SUCS	:										
Símbolo	: SP										
Nombre	: ARENA MAL GRADUADA										

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1403	1403	1403	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	281	281	281	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	495.95	487.93	487.83	
Temperatura Medida (°C)	16.0	17.0	16.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0109	0.0110	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00323	0.00328	0.00328	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00326			

MEDIDAS DE LA MUESTRA
h = 11.64 cm
d = 10.14 cm
A = 80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS
C _U = 2.251
C _C = 1.102
S ₀ = 1.451
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
DENSIDAD NATURAL
ρ _{nat} = 1.492 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)
v = 0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA
k _{20°C} = 0.00356 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Número de Curva</td> <td>: 22</td> </tr> <tr> <td>Textura de Curva</td> <td>: CERRADA</td> </tr> <tr> <td>Clasificación SUCS</td> <td>:</td> </tr> <tr> <td>Símbolo</td> <td>: SP</td> </tr> <tr> <td>Nombre</td> <td>: ARENA MAL GRADUADA</td> </tr> </table>	Número de Curva	: 22	Textura de Curva	: CERRADA	Clasificación SUCS	:	Símbolo	: SP	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA
Número de Curva	: 22										
Textura de Curva	: CERRADA										
Clasificación SUCS	:										
Símbolo	: SP										
Nombre	: ARENA MAL GRADUADA										

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1429	1429	1429	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	286	286	286	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	459.99	467.00	468.19	
Temperatura Medida (°C)	19.0	18.0	18.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0104	0.0106	0.0106	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00348	0.00343	0.00342	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00344			

MEDIDAS DE LA MUESTRA
h = 11.64 cm
d = 10.14 cm
A = 80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS
C _U = 2.252
C _C = 1.136
S ₀ = 1.476
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
DENSIDAD NATURAL
ρ _{nat} = 1.520 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)
v = 0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA
k _{20°C} = 0.00359 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 04 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 23
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1455	1455	1455	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	291	291	291	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	430.61	440.60	435.21	
Temperatura Medida (°C)	18.0	17.5	17.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0106	0.0108	0.0108	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00372	0.00363	0.00368	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00368			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.480
C _C =	1.055
S _O =	1.493
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.547 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00390 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 24
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1474	1474	1474	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	295	295	295	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	399.75	409.05	406.57	
Temperatura Medida (°C)	16.5	16.5	17.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0110	0.0110	0.0109	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00401	0.00391	0.00394	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00395			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.663
C _C =	0.993
S _O =	1.503
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.568 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00430 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 04 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 25
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1493	1493	1493	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	299	299	299	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	379.55	371.24	368.15	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	16.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0110	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00422	0.00431	0.00435	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00429			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.794
C _C =	0.941
S _O =	1.739
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.588 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00473 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 26
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1511	1511	1511	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	302	302	302	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	277.44	282.60	285.79	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.5	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0110	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00577	0.00567	0.00560	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00568			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	2.864
C _C =	0.894
S _O =	1.842
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.607 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00625 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 04 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 27
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1527	1527	1527	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	305	305	305	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	231.86	237.00	237.97	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00691	0.00676	0.00673	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00680			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.277
C _C =	0.689
S _O =	1.881
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.624 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00752 cm/s



ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 28
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1536	1536	1536	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	307	307	307	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	177.45	187.29	189.05	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.00902	0.00855	0.00847	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.00868			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.455
C _C =	0.686
S _O =	2.040
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.634 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.00960 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 04 de diciembre del 2015

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 29
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1538	1538	1538	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	308	308	308	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	155.26	160.97	162.71	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	16.0	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0112	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.01031	0.00995	0.00984	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.01003			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.426
C _C =	0.753
S _O =	2.067
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.635 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.01110 cm/s

ENSAYO: PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE NORMA: ASTM D 5084-00 CANTERA: UNOCOLLA	Número de Curva	: 30
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	:
	Símbolo	: SP
	Nombre	: ARENA MAL GRADUADA

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE LA DENSIDAD NATURAL			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Volumen de la Muestra (cm ³)*	940.29	940.29	940.29	
Peso de la Muestra (gr)	1537	1537	1537	
Número de Capas	5	5	5	
Peso por Capa (gr/capa)	307	307	307	
Altura por Capa (cm/capa)	2.33	2.33	2.33	

DESCRIPCIÓN	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD			Observaciones
Número de Ensayo	01	02	03	
Número del Permeámetro	P-001	P-001	P-001	
Altura de Carga (cm)	22.50	22.50	22.50	
Cantidad de Agua Descargada (cm ³)	250	250	250	
Tiempo Total de la Descarga (s)	81.33	84.38	85.94	
Temperatura Medida (°C)	16.0	16.0	15.5	
Viscosidad Cinemática (cm ² /s)	0.0112	0.0112	0.0113	
Coefficiente de Permeabilidad Parcial (cm/s)	0.01969	0.01897	0.01863	
COEF. PERMEABILIDAD FINAL (cm/s)	k = 0.01910			

MEDIDAS DE LA MUESTRA	
h =	11.64 cm
d =	10.14 cm
A =	80.78 cm ²
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	
C _U =	3.669
C _C =	0.897
S _O =	2.029
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
DENSIDAD NATURAL	
ρ _{nat} =	1.635 gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (20°C)	
v =	0.0101 cm ² /s
COEF. PERMEABILIDAD CORREGIDA	
k _{20°C} =	0.02121 cm/s

* Volumen de la muestra calculado en centímetros cúbicos (cm³), mediante el método de mediciones lineales.

INFORME DE ENSAYO
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

CABEZA CONSTANTE

CODIGO DEL CERTIFICADO
 AM 395 /MS/10-2017/RCF

Página: 1 de 1
 F. Emisión: 17/10/2017

PROYECTO: TESIS - INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS EN LA DETERMINACION DEL ANGULO DE FRICCION Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO
UBICACIÓN: UNIVERSIDAD PERUANA UNION - JULIACA
SOLICITANTE: JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
DIRECCIÓN: JULIACA
F. SOLICITUD: 09/10/2017
F. EJECUCIÓN: 16/10/2017
ENSAYADO EN: Laboratorio RCF S.R.L.
Muestra: Rio Unocolla tipo SP
Código - Muestra: AM 395 - M-1
Cantera: -
Condición Inicial: Alterada

Dimensiones de la Muestra	
Diametro:	7.57 cm
Altura:	6.80 cm
Area:	45.01 cm ²
Volumen:	306.05 cm ³

Dimensiones de la Muestra	
h:	115.60 cm

CABEZA CONSTANTE

Diametro de la bureta 1.43 cm Area de la Bureta 1.61 cm²
 Altura Inicial 153.00 cm n_T/n_{20} 1.0050

Ensayo N°	Tiempo (s)	Q1 (ml)	Q (cm3)	K _T	T°	n_T/n_{20}	k ₂₀
1	60.0	190.0	190.0	4.14E-03	19.8	1.0050	4.16E-03
2	60.0	180.0	180.0	3.92E-03	19.8	1.0050	3.94E-03
3	60.0	170.0	170.0	3.70E-03	19.8	1.0050	3.72E-03
4	60.0	160.0	160.0	3.49E-03	19.8	1.0050	3.50E-03
5	60.0	160.0	160.0	3.49E-03	19.8	1.0050	3.50E-03
6	60.0	158.0	158.0	3.44E-03	19.8	1.0050	3.46E-03
7	60.0	159.0	159.0	3.46E-03	19.8	1.0050	3.48E-03
8	60.0	158.0	158.0	3.44E-03	19.8	1.0050	3.46E-03
9	60.0	159.0	159.0	3.46E-03	19.8	1.0050	3.48E-03
10	60.0	160.0	160.0	3.49E-03	19.8	1.0050	3.50E-03

Coeficiente de permeabilidad a 20.1 °C $k_{20} = 3.62E-03$ cm/s

Nº 011510


 ROBERTO CACERES FLORES
 INGENIERO CIVIL
 CIP 59876

Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de RCF S.R.L.
 El laboratorio no se hace responsable del mal uso, ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
 Los resultados de este informe solo están relacionados a la muestra ensayada y no debe ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio : Calle El Palomar N° 107 Lote B-3B - Arequipa (detrás del Mercado El Palomar) - Móvil RPM * 414 995 - RPC: 956 781 874
 Telf. (054) 214163 - E-mail: laboratorio@rcflaboratorio.com - spc_laboratorio@hotmail.com - Atn. 8:00 a 1:00 pm y 1:30 a 5:00 pm

Anexo E. Ensayo de corte directo (ASTM D 3080-98)

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 18 de agosto del 2017

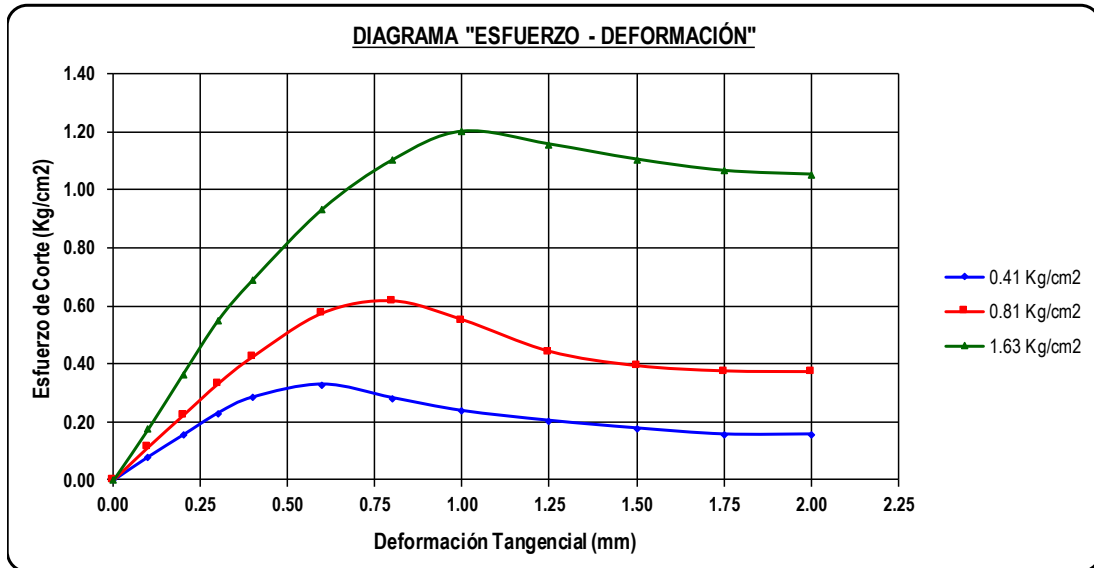
ENSAYO: CORTE DIRECTO NORMA: ASTM D 3080-98	Número de Curva	: 05
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	: SW
	Estado de la Muestra	: Alterado
	Velocidad de Ensayo	: 0.50 mm/min.

DATOS	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura (cm)	2.17	2.17	2.17
Diámetro (cm)	5.00	5.00	5.00
Volumen (cm ³)	42.61	42.61	42.61
Peso Anillo + Muestra (gr)	-	-	-
Peso Muestra (gr)	70.00	70.00	70.00
Densidad Nat (gr/cm ³)	1.643	1.643	1.643
Humedad (%)	-	-	-
Esf. Normal (Kg/cm ²)	0.41 Kg/cm ²	0.81 Kg/cm ²	1.63 Kg/cm ²

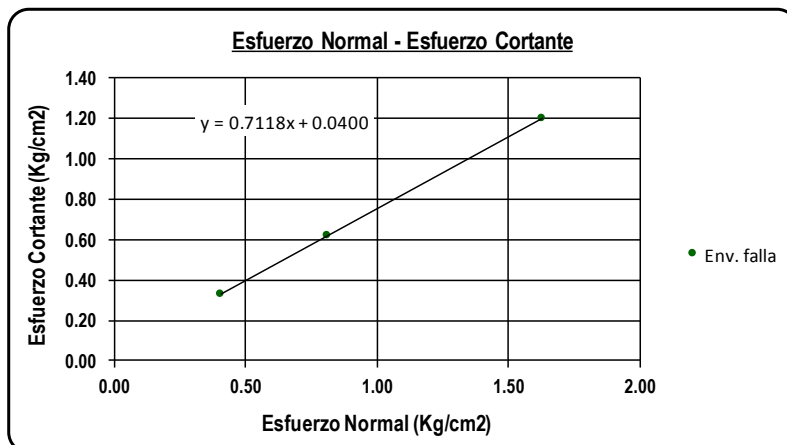
Deformación Tangencial		Lectura (N)	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Lectura (N)	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Lectura (N)	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)
(pulg)	(mm)									
0.000	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.004	0.10	15.5	1.6	0.08	22.0	2.2	0.11	34.0	3.5	0.18
0.008	0.20	30.0	3.1	0.16	43.0	4.4	0.22	70.5	7.2	0.37
0.012	0.30	44.5	4.5	0.23	64.0	6.5	0.33	106.0	10.8	0.55
0.016	0.40	55.0	5.6	0.29	82.0	8.4	0.43	133.0	13.6	0.69
0.024	0.60	63.5	6.5	0.33	111.0	11.3	0.58	180.0	18.3	0.93
0.031	0.80	54.5	5.6	0.28	119.0	12.1	0.62	212.5	21.7	1.10
0.039	1.00	46.0	4.7	0.24	106.5	10.9	0.55	231.5	23.6	1.20
0.049	1.25	39.5	4.0	0.21	85.5	8.7	0.44	223.0	22.7	1.16
0.059	1.50	34.5	3.5	0.18	76.0	7.7	0.39	213.0	21.7	1.11
0.069	1.75	30.5	3.1	0.16	72.5	7.4	0.38	205.5	20.9	1.07
0.079	2.00	30.5	3.1	0.16	72.0	7.3	0.37	203.0	20.7	1.05
0.089	2.25									
0.098	2.50									
0.108	2.75									
0.118	3.00									
0.138	3.50									
0.157	4.00									
0.177	4.50									
0.197	5.00									
0.217	5.50									
0.236	6.00									
0.256	6.50									
0.276	7.00									
0.295	7.50									

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 18 de agosto del 2017

ENSAYO: CORTE DIRECTO NORMA: ASTM D 3080-98	Número de Curva	: 05
	Textura de Curva	: ABIERTA
	Clasificación SUCS	: SW
	Estado de la Muestra	: Alterado
	Velocidad de Ensayo	: 0.50 mm/min.



Esfuerzo Normal (Kg/cm²)	0.41	0.81	1.63
Esfuerzo Cortante (Kg/cm²)	0.33	0.62	1.20





Parámetros de la Recta

m= 0.71
b= 0.04

Parámetros de Resistencia al Corte

$\phi' = 35.44^\circ$
 $c' = 0.04 \text{ Kg/cm}^2$
 $\rho = 1.64 \text{ gr/cm}^3$



	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"		
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO		
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI	FECHA	: 18 de agosto del 2017

ENSAYO: CORTE DIRECTO NORMA: ASTM D 3080-98	Número de Curva	: 15
	Textura de Curva	: MEDIA
	Clasificación SUCS	: SP
	Estado de la Muestra	: Alterado
	Velocidad de Ensayo	: 0.50 mm/min.

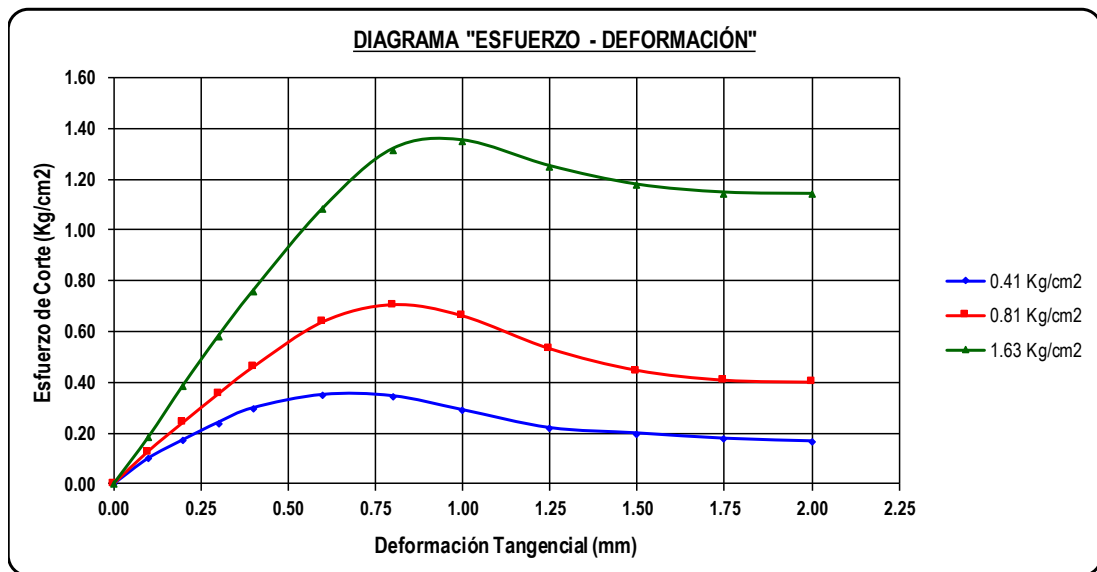
DATOS	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura (cm)	2.17	2.17	2.17
Diámetro (cm)	5.00	5.00	5.00
Volumen (cm ³)	42.61	42.61	42.61
Peso Anillo + Muestra (gr)	-	-	-
Peso Muestra (gr)	68.13	68.13	68.13
Densidad Nat (gr/cm ³)	1.599	1.599	1.599
Humedad (%)	-	-	-
Esf. Normal (Kg/cm ²)	0.41 Kg/cm ²	0.81 Kg/cm ²	1.63 Kg/cm ²

Deformación Tangencial		Lectura (N)	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Lectura (N)	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Lectura (N)	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)
(pulg)	(mm)									
0.000	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.004	0.10	19.5	2.0	0.10	25.0	2.5	0.13	35.5	3.6	0.18
0.008	0.20	33.5	3.4	0.17	47.0	4.8	0.24	75.0	7.6	0.39
0.012	0.30	46.5	4.7	0.24	68.5	7.0	0.36	112.0	11.4	0.58
0.016	0.40	57.5	5.9	0.30	89.0	9.1	0.46	146.5	14.9	0.76
0.024	0.60	67.5	6.9	0.35	123.5	12.6	0.64	209.0	21.3	1.09
0.031	0.80	66.5	6.8	0.35	136.5	13.9	0.71	254.0	25.9	1.32
0.039	1.00	56.0	5.7	0.29	128.0	13.0	0.66	260.5	26.6	1.35
0.049	1.25	42.5	4.3	0.22	103.0	10.5	0.53	241.0	24.6	1.25
0.059	1.50	38.5	3.9	0.20	86.5	8.8	0.45	227.0	23.1	1.18
0.069	1.75	34.5	3.5	0.18	79.0	8.1	0.41	221.0	22.5	1.15
0.079	2.00	32.5	3.3	0.17	77.5	7.9	0.40	220.0	22.4	1.14
0.089	2.25									
0.098	2.50									
0.108	2.75									
0.118	3.00									
0.138	3.50									
0.157	4.00									
0.177	4.50									
0.197	5.00									
0.217	5.50									
0.236	6.00									
0.256	6.50									
0.276	7.00									
0.295	7.50									

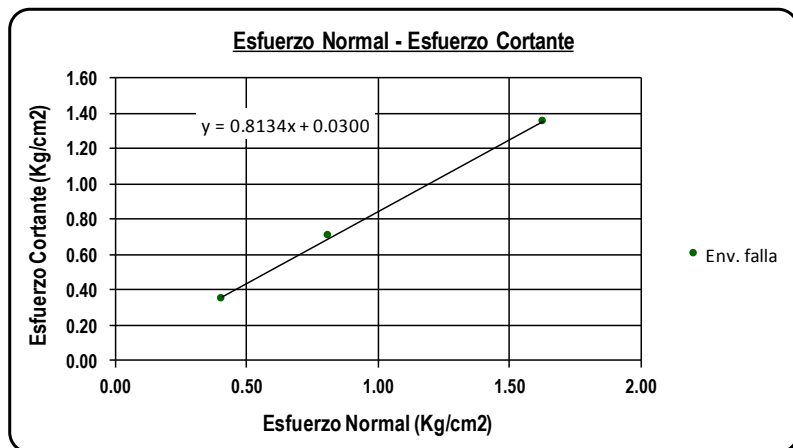
	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
	FECHA : 18 de agosto del 2017

ENSAYO: CORTE DIRECTO NORMA: ASTM D 3080-98	<table border="1"> <tr><td>Número de Curva</td><td>: 15</td></tr> <tr><td>Textura de Curva</td><td>: MEDIA</td></tr> <tr><td>Clasificación SUCS</td><td>: SP</td></tr> <tr><td>Estado de la Muestra</td><td>: Alterado</td></tr> <tr><td>Velocidad de Ensayo</td><td>: 0.50 mm/min.</td></tr> </table>	Número de Curva	: 15	Textura de Curva	: MEDIA	Clasificación SUCS	: SP	Estado de la Muestra	: Alterado	Velocidad de Ensayo	: 0.50 mm/min.
Número de Curva	: 15										
Textura de Curva	: MEDIA										
Clasificación SUCS	: SP										
Estado de la Muestra	: Alterado										
Velocidad de Ensayo	: 0.50 mm/min.										



Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	0.41	0.81	1.63
Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)	0.35	0.71	1.35





Parámetros de la Recta

m= 0.81
b= 0.03

Parámetros de Resistencia al Corte

$\phi' = 39.12^\circ$
 $c' = 0.03 \text{ Kg/cm}^2$
 $\rho = 1.60 \text{ gr/cm}^3$



	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI FECHA : 18 de agosto del 2017

ENSAYO: CORTE DIRECTO NORMA: ASTM D 3080-98	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td>Número de Curva</td><td>: 25</td></tr> <tr><td>Textura de Curva</td><td>: CERRADA</td></tr> <tr><td>Clasificación SUCS</td><td>: SP</td></tr> <tr><td>Estado de la Muestra</td><td>: Alterado</td></tr> <tr><td>Velocidad de Ensayo</td><td>: 0.50 mm/min.</td></tr> </table>	Número de Curva	: 25	Textura de Curva	: CERRADA	Clasificación SUCS	: SP	Estado de la Muestra	: Alterado	Velocidad de Ensayo	: 0.50 mm/min.
Número de Curva	: 25										
Textura de Curva	: CERRADA										
Clasificación SUCS	: SP										
Estado de la Muestra	: Alterado										
Velocidad de Ensayo	: 0.50 mm/min.										

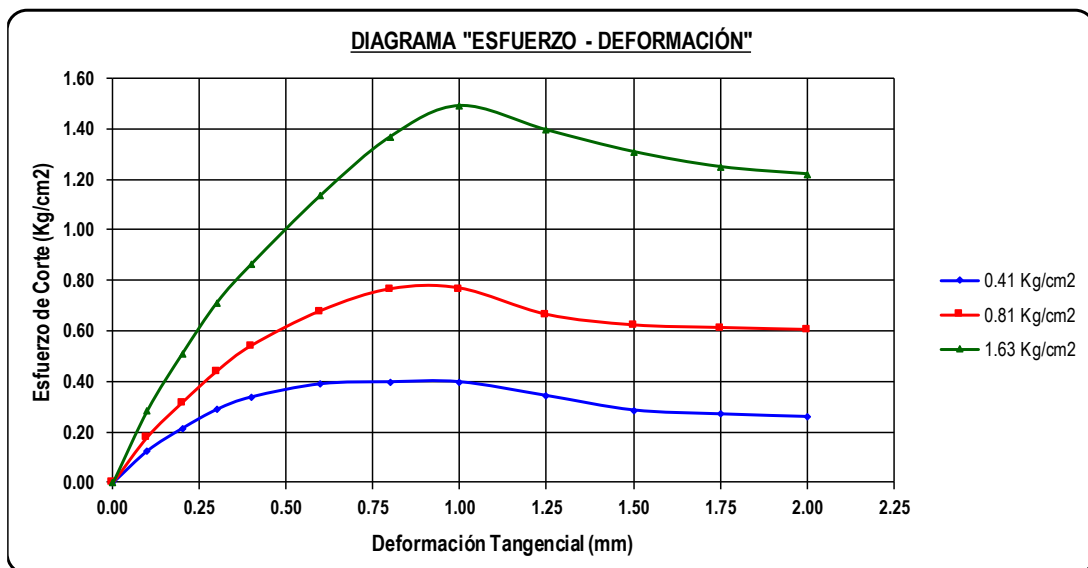
DATOS	ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02	ESPECIMEN 03
Altura (cm)	2.17	2.17	2.17
Diámetro (cm)	5.00	5.00	5.00
Volumen (cm3)	42.61	42.61	42.61
Peso Anillo + Muestra (gr)	-	-	-
Peso Muestra (gr)	70.05	70.05	70.05
Densidad Nat. (gr/cm3)	1.644	1.644	1.644
Humedad (%)	-	-	-
Esf. Normal (Kg/cm2)	0.41 Kg/cm2	0.81 Kg/cm2	1.63 Kg/cm2

Deformación Tangencial		Lectura (N)	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Lectura (N)	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Lectura (N)	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)
(pulg)	(mm)									
0.000	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.004	0.10	24.5	2.5	0.13	35.0	3.6	0.18	55.5	5.7	0.29
0.008	0.20	41.5	4.2	0.22	61.0	6.2	0.32	98.5	10.0	0.51
0.012	0.30	56.0	5.7	0.29	85.0	8.7	0.44	137.5	14.0	0.71
0.016	0.40	65.5	6.7	0.34	104.5	10.7	0.54	167.0	17.0	0.87
0.024	0.60	75.5	7.7	0.39	131.0	13.4	0.68	219.5	22.4	1.14
0.031	0.80	77.0	7.8	0.40	147.5	15.0	0.77	264.0	26.9	1.37
0.039	1.00	77.0	7.8	0.40	148.0	15.1	0.77	287.5	29.3	1.49
0.049	1.25	66.5	6.8	0.35	128.0	13.0	0.66	269.0	27.4	1.40
0.059	1.50	55.5	5.7	0.29	120.0	12.2	0.62	252.5	25.7	1.31
0.069	1.75	52.5	5.4	0.27	118.0	12.0	0.61	241.0	24.6	1.25
0.079	2.00	50.5	5.1	0.26	116.5	11.9	0.60	235.5	24.0	1.22
0.089	2.25									
0.098	2.50									
0.108	2.75									
0.118	3.00									
0.138	3.50									
0.157	4.00									
0.177	4.50									
0.197	5.00									
0.217	5.50									
0.236	6.00									
0.256	6.50									
0.276	7.00									
0.295	7.50									

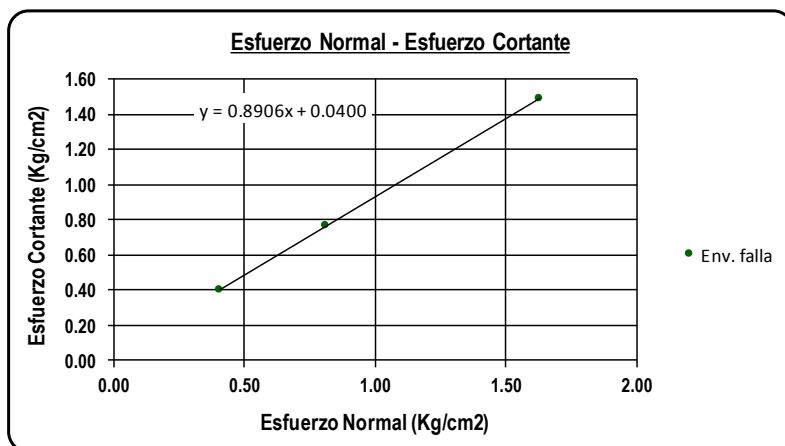
	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - E. P. DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
---	--	---

TESIS	"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA ARENAS MAL GRADUADAS EN ESTADO SATURADO"
AUTOR	: BACH. JAIME LEANDRO SOTO SALCEDO
ASESOR	: ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI
	FECHA : 18 de agosto del 2017

ENSAYO: CORTE DIRECTO NORMA: ASTM D 3080-98	Número de Curva	: 25
	Textura de Curva	: CERRADA
	Clasificación SUCS	: SP
	Estado de la Muestra	: Alterado
	Velocidad de Ensayo	: 0.50 mm/min.



Esfuerzo Normal (Kg/cm²)	0.41	0.81	1.63
Esfuerzo Cortante (Kg/cm²)	0.40	0.77	1.49



Parámetros de la Recta

m= 0.89

b= 0.04

Parámetros de Resistencia al Corte

$\phi' = 41.69^\circ$

c'= 0.04 Kg/cm²

$\rho = 1.64 \text{ gr/cm}^3$

Anexo F. Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio (Resumen)

Ensayo de análisis granulométrico inverso:

Resultados obtenidos de los porcentajes pasantes de las curvas granulométricas confeccionadas y su clasificación SUCS

T _{CG}	CURVA	PORCENTAJES PASANTES (%)								SUCS
		3/8"	#4	#10	#20	#40	#60	#100	#200	
TEXTURA ABIERTA	C - 01	100.00	100.00	85.00	65.00	35.00	20.00	10.00	4.99	SP
	C - 02	100.00	99.44	79.44	58.33	31.11	17.78	8.89	4.44	SP
	C - 03	100.00	98.89	73.89	51.67	27.22	15.56	7.78	3.88	SP
	C - 04	100.00	98.33	68.33	45.00	23.33	13.33	6.67	3.33	SW
	C - 05	100.00	97.78	62.78	38.33	19.44	11.11	5.56	2.77	SW
	C - 06	100.00	97.22	57.22	31.67	15.56	8.89	4.44	2.22	SW
	C - 07	100.00	96.67	51.67	25.00	11.67	6.67	3.33	1.66	SW
	C - 08	100.00	96.11	46.11	18.33	7.78	4.44	2.22	1.11	SP
	C - 09	100.00	95.56	40.56	11.67	3.89	2.22	1.11	0.55	SP
	C - 10	100.00	95.00	35.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	SP
TEXTURA MEDIA	C - 11	100.00	100.00	100.00	85.00	15.00	5.00	0.00	0.00	SP
	C - 12	100.00	99.44	98.33	82.78	17.22	7.22	1.67	0.55	SP
	C - 13	100.00	98.89	96.67	80.56	19.44	9.44	3.33	1.11	SP
	C - 14	100.00	98.33	95.00	78.33	21.67	11.67	5.00	1.66	SP
	C - 15	100.00	97.78	93.33	76.11	23.89	13.89	6.67	2.22	SP
	C - 16	100.00	97.22	91.67	73.89	26.11	16.11	8.33	2.77	SP
	C - 17	100.00	96.67	90.00	71.67	28.33	18.33	10.00	3.33	SP
	C - 18	100.00	96.11	88.33	69.44	30.56	20.56	11.67	3.88	SP
	C - 19	100.00	95.56	86.67	67.22	32.78	22.78	13.33	4.44	SW
	C - 20	100.00	95.00	85.00	65.00	35.00	25.00	15.00	4.99	SW
TEXTURA CERRADA	C - 21	100.00	100.00	100.00	100.00	95.00	65.00	25.00	4.99	SP
	C - 22	100.00	99.44	98.33	96.11	88.33	59.44	22.22	4.44	SP
	C - 23	100.00	98.89	96.67	92.22	81.67	53.89	19.44	3.88	SP
	C - 24	100.00	98.33	95.00	88.33	75.00	48.33	16.67	3.33	SP
	C - 25	100.00	97.78	93.33	84.44	68.33	42.78	13.89	2.77	SP
	C - 26	100.00	97.22	91.67	80.56	61.67	37.22	11.11	2.22	SP
	C - 27	100.00	96.67	90.00	76.67	55.00	31.67	8.33	1.66	SP
	C - 28	100.00	96.11	88.33	72.78	48.33	26.11	5.56	1.11	SP
	C - 29	100.00	95.56	86.67	68.89	41.67	20.56	2.78	0.55	SP
	C - 30	100.00	95.00	85.00	65.00	35.00	15.00	0.00	0.00	SP

Nota: Elaboración Propia.

Resultados obtenidos de los porcentajes de suelos de las curvas granulométricas confeccionadas

T _{CG}	CURVA	PORCENTAJES DE SUELO (%)			TOTAL
		GRAVA	ARENA	FINOS	
TEXTURA ABIERTA	C - 01	0.00	95.01	4.99	100.00
	C - 02	0.56	95.01	4.44	100.00
	C - 03	1.11	95.01	3.88	100.00
	C - 04	1.67	95.01	3.33	100.00
	C - 05	2.22	95.01	2.77	100.00
	C - 06	2.78	95.00	2.22	100.00
	C - 07	3.33	95.00	1.66	100.00
	C - 08	3.89	95.00	1.11	100.00
	C - 09	4.44	95.00	0.55	100.00
	C - 10	5.00	95.00	0.00	100.00
TEXTURA MEDIA	C - 11	0.00	100.00	0.00	100.00
	C - 12	0.56	98.89	0.55	100.00
	C - 13	1.11	97.78	1.11	100.00
	C - 14	1.67	96.67	1.66	100.00
	C - 15	2.22	95.56	2.22	100.00
	C - 16	2.78	94.45	2.77	100.00
	C - 17	3.33	93.34	3.33	100.00
	C - 18	3.89	92.23	3.88	100.00
	C - 19	4.44	91.12	4.44	100.00
	C - 20	5.00	90.01	4.99	100.00
TEXTURA CERRADA	C - 21	0.00	95.01	4.99	100.00
	C - 22	0.56	95.01	4.44	100.00
	C - 23	1.11	95.01	3.88	100.00
	C - 24	1.67	95.01	3.33	100.00
	C - 25	2.22	95.01	2.77	100.00
	C - 26	2.78	95.00	2.22	100.00
	C - 27	3.33	95.00	1.66	100.00
	C - 28	3.89	95.00	1.11	100.00
	C - 29	4.44	95.00	0.55	100.00
	C - 30	5.00	95.00	0.00	100.00

Nota: Elaboración Propia.

Resultados obtenidos de los diámetros y parámetros granulométricos de las curvas granulométricas confeccionadas

T _{CG}	CURVA	DIÁMETROS (mm) Y PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS								
		D ₁₀	D ₂₅	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	D ₇₅	C _u	C _c	S _o
TEXTURA ABIERTA	C - 01	0.150	0.320	0.377	0.670	0.795	1.463	5.300	1.190	2.139
	C - 02	0.167	0.357	0.414	0.746	0.955	1.786	5.718	1.073	2.238
	C - 03	0.186	0.398	0.489	0.828	1.331	2.141	7.144	0.967	2.318
	C - 04	0.208	0.470	0.588	1.140	1.642	2.703	7.875	1.009	2.399
	C - 05	0.235	0.582	0.697	1.469	1.894	3.104	8.069	1.091	2.309
	C - 06	0.287	0.709	0.818	1.738	2.246	3.404	7.830	1.038	2.192
	C - 07	0.377	0.850	1.139	1.948	2.656	3.636	7.050	1.296	2.068
	C - 08	0.550	1.237	1.464	2.303	2.986	3.821	5.433	1.306	1.758
	C - 09	0.790	1.553	1.722	2.672	3.257	3.973	4.121	1.152	1.599
	C - 10	1.260	1.801	1.909	2.982	3.484	4.099	2.766	0.830	1.509
TEXTURA MEDIA	C - 11	0.360	0.550	0.595	0.720	0.765	0.819	2.122	1.284	1.220
	C - 12	0.316	0.526	0.575	0.714	0.763	0.823	2.418	1.375	1.251
	C - 13	0.264	0.500	0.555	0.707	0.762	0.829	2.888	1.530	1.287
	C - 14	0.232	0.472	0.533	0.702	0.762	0.836	3.286	1.606	1.330
	C - 15	0.205	0.442	0.509	0.696	0.763	0.845	3.716	1.652	1.383
	C - 16	0.178	0.409	0.482	0.690	0.765	0.930	4.306	1.708	1.507
	C - 17	0.150	0.375	0.451	0.685	0.769	1.080	5.124	1.766	1.697
	C - 18	0.139	0.336	0.417	0.680	0.774	1.218	5.551	1.609	1.903
	C - 19	0.130	0.295	0.382	0.675	0.783	1.346	6.003	1.433	2.137
	C - 20	0.122	0.250	0.345	0.670	0.795	1.463	6.497	1.222	2.419
TEXTURA CERRADA	C - 21	0.107	0.150	0.169	0.223	0.242	0.316	2.251	1.102	1.451
	C - 22	0.113	0.162	0.181	0.232	0.254	0.353	2.252	1.136	1.476
	C - 23	0.119	0.175	0.193	0.243	0.295	0.389	2.480	1.055	1.493
	C - 24	0.126	0.188	0.205	0.264	0.336	0.425	2.663	0.993	1.503
	C - 25	0.135	0.202	0.218	0.308	0.376	0.612	2.794	0.941	1.739
	C - 26	0.145	0.217	0.232	0.352	0.416	0.736	2.864	0.894	1.842
	C - 27	0.164	0.232	0.246	0.395	0.536	0.822	3.277	0.689	1.881
	C - 28	0.188	0.247	0.289	0.460	0.650	1.029	3.455	0.686	2.040
	C - 29	0.214	0.298	0.344	0.579	0.733	1.276	3.426	0.753	2.067
	C - 30	0.217	0.356	0.393	0.670	0.795	1.463	3.669	0.897	2.029

Nota: Elaboración Propia.

Ensayo de densidad mínima y máxima:

Resultados obtenidos de las densidades mínimas y máximas de las curvas granulométricas confeccionadas

T _{CG}	CURVA	DENSIDADES MÍNIMAS Y MÁXIMAS (gr/cm ³)					
		CANTERA					
		MARAVILLAS		UNOCOLLA		ISLA	
		ρ_{\min}	ρ_{\max}	ρ_{\min}	ρ_{\max}	ρ_{\min}	ρ_{\max}
TEXTURA ABIERTA	C - 01	1.514	1.926	1.498	1.925	1.555	1.973
	C - 02	1.534	1.948	1.513	1.940	1.578	1.999
	C - 03	1.545	1.958	1.526	1.951	1.585	2.003
	C - 04	1.554	1.963	1.530	1.956	1.591	2.017
	C - 05	1.554	1.973	1.535	1.966	1.599	2.030
	C - 06	1.549	1.951	1.521	1.943	1.585	1.997
	C - 07	1.545	1.939	1.518	1.928	1.579	1.985
	C - 08	1.534	1.911	1.499	1.897	1.565	1.952
	C - 09	1.528	1.855	1.485	1.839	1.544	1.889
	C - 10	1.520	1.797	1.463	1.770	1.529	1.820
TEXTURA MEDIA	C - 11	1.369	1.712	1.346	1.680	1.384	1.730
	C - 12	1.386	1.766	1.366	1.725	1.410	1.781
	C - 13	1.416	1.802	1.390	1.750	1.433	1.812
	C - 14	1.434	1.820	1.420	1.784	1.460	1.855
	C - 15	1.459	1.859	1.428	1.815	1.481	1.883
	C - 16	1.476	1.877	1.451	1.848	1.501	1.917
	C - 17	1.500	1.913	1.464	1.890	1.523	1.948
	C - 18	1.514	1.927	1.491	1.903	1.541	1.983
	C - 19	1.531	1.942	1.511	1.929	1.562	2.007
	C - 20	1.551	1.973	1.525	1.932	1.581	2.031
TEXTURA CERRADA	C - 21	1.330	1.737	1.286	1.697	1.365	1.809
	C - 22	1.361	1.761	1.316	1.724	1.392	1.830
	C - 23	1.389	1.784	1.347	1.748	1.421	1.844
	C - 24	1.414	1.802	1.373	1.763	1.449	1.857
	C - 25	1.429	1.812	1.396	1.779	1.474	1.872
	C - 26	1.445	1.826	1.421	1.793	1.491	1.887
	C - 27	1.459	1.846	1.436	1.813	1.503	1.890
	C - 28	1.470	1.848	1.450	1.818	1.515	1.896
	C - 29	1.480	1.840	1.458	1.813	1.521	1.878
	C - 30	1.482	1.833	1.461	1.808	1.523	1.872

Nota: Elaboración Propia.

Resultados obtenidos de la relación de vacíos mínimo y máximo de las curvas granulométricas confeccionadas

		RELACIÓN DE VACÍOS MÍNIMOS Y MÁXIMOS					
T _{CG}	CURVA	CANTERA					
		MARAVILLAS		UNOCOLLA		ISLA	
		e _{min}	e _{máx}	e _{min}	e _{máx}	e _{min}	e _{máx}
TEXTURA ABIERTA	C - 01	0.371	0.744	0.368	0.757	0.351	0.714
	C - 02	0.355	0.721	0.357	0.740	0.333	0.689
	C - 03	0.349	0.709	0.350	0.725	0.330	0.682
	C - 04	0.345	0.700	0.346	0.721	0.321	0.675
	C - 05	0.339	0.699	0.340	0.715	0.313	0.666
	C - 06	0.354	0.705	0.355	0.731	0.334	0.681
	C - 07	0.362	0.710	0.366	0.734	0.343	0.688
	C - 08	0.382	0.722	0.388	0.756	0.365	0.703
	C - 09	0.423	0.728	0.432	0.773	0.411	0.725
	C - 10	0.469	0.737	0.488	0.799	0.465	0.743
TEXTURA MEDIA	C - 11	0.543	0.929	0.567	0.956	0.540	0.925
	C - 12	0.496	0.905	0.527	0.928	0.496	0.890
	C - 13	0.466	0.865	0.504	0.894	0.471	0.859
	C - 14	0.451	0.842	0.476	0.854	0.437	0.826
	C - 15	0.421	0.810	0.451	0.843	0.415	0.799
	C - 16	0.407	0.789	0.425	0.814	0.391	0.776
	C - 17	0.381	0.761	0.393	0.799	0.368	0.750
	C - 18	0.370	0.744	0.384	0.766	0.344	0.729
	C - 19	0.360	0.725	0.365	0.743	0.328	0.707
	C - 20	0.339	0.703	0.363	0.727	0.312	0.686
TEXTURA CERRADA	C - 21	0.521	0.986	0.551	1.047	0.473	0.953
	C - 22	0.499	0.941	0.527	1.001	0.456	0.914
	C - 23	0.480	0.901	0.507	0.955	0.445	0.876
	C - 24	0.466	0.867	0.494	0.918	0.435	0.839
	C - 25	0.458	0.848	0.480	0.885	0.424	0.808
	C - 26	0.446	0.828	0.469	0.853	0.412	0.787
	C - 27	0.431	0.811	0.453	0.833	0.410	0.774
	C - 28	0.429	0.796	0.448	0.816	0.406	0.759
	C - 29	0.435	0.785	0.452	0.806	0.419	0.752
	C - 30	0.441	0.782	0.456	0.802	0.423	0.750

Nota: Elaboración Propia.

Ensayo de permeabilidad de carga constante:

Resultados obtenidos del coeficiente de permeabilidad de las curvas granulométricas confeccionadas

T _{CG}	CURVA	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/s)				
		CANTERA UNOCOLLA				
		k ₀₁	k ₀₂	k ₀₃	k _{Promedio}	k _{Corregido}
TEXTURA ABIERTA	C - 01	0.00330	0.00324	0.00327	0.00327	0.00362
	C - 02	0.00428	0.00421	0.00415	0.00422	0.00455
	C - 03	0.00523	0.00530	0.00515	0.00523	0.00564
	C - 04	0.00794	0.00773	0.00789	0.00785	0.00869
	C - 05	0.00970	0.00942	0.00917	0.00943	0.01030
	C - 06	0.02164	0.02086	0.02041	0.02097	0.02290
	C - 07	0.02879	0.02853	0.02556	0.02762	0.03017
	C - 08	0.04670	0.04716	0.04358	0.04581	0.04876
	C - 09	0.06293	0.06111	0.04686	0.05697	0.06063
	C - 10	0.12547	0.12316	0.12880	0.12581	0.13569
TEXTURA MEDIA	C - 11	0.04974	0.04744	0.04653	0.04790	0.05298
	C - 12	0.02838	0.02826	0.02775	0.02813	0.03111
	C - 13	0.02256	0.02233	0.02196	0.02228	0.02475
	C - 14	0.01751	0.01683	0.01656	0.01697	0.01910
	C - 15	0.01296	0.01224	0.01189	0.01236	0.01403
	C - 16	0.00937	0.00903	0.00886	0.00908	0.01049
	C - 17	0.00748	0.00712	0.00726	0.00729	0.00810
	C - 18	0.00551	0.00533	0.00539	0.00541	0.00614
	C - 19	0.00449	0.00442	0.00437	0.00443	0.00490
	C - 20	0.00318	0.00314	0.00314	0.00315	0.00353
TEXTURA CERRADA	C - 21	0.00323	0.00328	0.00328	0.00326	0.00356
	C - 22	0.00348	0.00343	0.00342	0.00344	0.00359
	C - 23	0.00372	0.00363	0.00368	0.00368	0.00390
	C - 24	0.00401	0.00391	0.00394	0.00395	0.00430
	C - 25	0.00422	0.00431	0.00435	0.00429	0.00473
	C - 26	0.00577	0.00567	0.00560	0.00568	0.00625
	C - 27	0.00691	0.00676	0.00673	0.00680	0.00752
	C - 28	0.00902	0.00855	0.00847	0.00868	0.00960
	C - 29	0.01031	0.00995	0.00984	0.01003	0.01110
	C - 30	0.01969	0.01897	0.01863	0.01910	0.02121

Nota: Elaboración Propia.

Anexo G. Panel fotográfico (Ensayos de campo y laboratorio)

Exploración y muestreo:



Exploración in situ de la cantera Unocolla.



Zaranda para agregado ubicado en la cantera Isla.



Arena limpia separada por la zaranda.



Arena limpia lista para ser muestreada.



Muestreo de arena extraída en sacos.



Traslado de la muestra de arena con dirección al laboratorio.

Ensayo de análisis granulométrico inverso:



Muestra de arena separada por mallas de la cantera Maravillas.



Muestra de arena separada por mallas de la cantera Unocolla.



Muestra de arena separada por mallas de la cantera Isla.



Muestra confeccionada de arena de la cantera Maravillas.



Muestra confeccionada de arena de la cantera Unocolla.



Muestra confeccionada de arena de la cantera Isla.

Anexo H. Plano de ubicación de canteras (Área de estudio e investigación)

PLAN DIRECTOR DE JULIACA 2004 - 2015

